Quaderni di informatica

3

Rassegna di tecnologia ed applicazioni degli elaboratori elettronici - Anno II - Numero 1 - 1975

ARCHIVIO STORICO
ASSOCIAZIONE POZZO DI MIELE
FPDM-30
RQDI-101

Honeywell
Honeywell Information Systems Italia

FPDM-30

Quaderni di informatica

Rassegna di tecnologia ed applicazioni degli elaboratori elettronici
Anno II - Numero 1 - 1975

Sommario

Orientamenti dell'architettura degli elaboratori elettronici
Dal vaglio delle possibilità delle nuove tecnologie e sulla base dei più recenti concetti logici, vengono tratte indicazioni sulla probabile evoluzione della struttura dell'elaboratore negli anni a venire.
G.C. TESSERA

Il magnetismo e le memorie di massa
Le memorie di massa sono, notoriamente, dominio delle tecnologie magnetiche. Questo articolo, presentando le basi del loro funzionamento, ne valuta anche le potenzialità di sviluppo ulteriore. In articoli successivi, verranno esaminati altri tipi di memorie di massa, oggi ancora in fase di studio, basate su principi fisici diversi da quelli delle memorie attuali.
N. MINNAJA

Le tecniche decisionali nella realtà aziendale
In questa panoramica si illustrano le tecniche sviluppate per la « ricerca operativa » di scelte razionali nei processi di decisione aziendale. L'efficacia di tali tecniche dipende in larga misura dalla loro integrazione nel sistema informativo aziendale.
F. RICCI

Problemi e prospettive dell'informatica sanitaria
L'informatica può dare un sostanziale contributo al miglioramento dell'assistenza sanitaria. L'informatica di per sé non ha però capacità taumaturgiche. In questo articolo sono messi in evidenza, in luce critica, i problemi e le prospettive dell'impiego dell'elaboratore al servizio della salute.
P. MANACORDA

La protezione giuridica del software
Come esaminato in un articolo precedente, il software non è, in sostanza, brevettabile. Esistono tuttavia istituti giuridici alternativi, quale il diritto d'autore, applicabili efficacemente a questo costoso prodotto dell'ingegno.
C. FALCETTI

Gli elaboratori elettronici nelle università italiane
Quanto e come viene usato l'elaboratore elettronico nelle università italiane? Questo articolo riassume i dati più significativi di una recente indagine sull'argomento.
F. SALA

Resoconti e Recensioni

Direttore Responsabile
F. Filippazzi

Comitato di Redazione
A. Cicu, M. De Marco, S. Fabris,
C. Falcetti, R. Levrero, P. Lupo,
N. Minnaja, G. Occhini, G. Rapelli,
F. Ricci, M. Rossi, F. Senzasono

Redazione
Honeywell Information Systems Italia
Centro di Ricerca e Progettazione
20010 Pregnana Milanese (Milano)

Stampa
grafiche A. Nava, Milano

Autorizzazione del Tribunale di Milano
n. 93 del 20 Marzo 1974

« Quaderni di Informatica » ospita articoli e contributi di varia provenienza. La responsabilità delle opinioni espresse rimane agli Autori.

Orientamenti dell'architettura degli elaboratori elettronici

GIAN CARLO TESSERA
Honeywell Information Systems Italia
Centro di Ricerca e Progettazione di Pregnana Milanese

1. Introduzione

In un precedente articolo di questi «Quaderni» [1] si erano tracciate le linee di evoluzione dell'elaboratore fino allo stato attuale. Quale ulteriore evoluzione ci si può attendere nei prossimi anni?
Per cercare di dare una risposta attendibile a questo interrogativo, conviene cominciare esaminando criticamente lo stato dell'arte.
In questo articolo, si prenderanno perciò anzitutto in considerazione le più recenti realizzazioni, sia per quanto riguarda la struttura logica degli elaboratori che gli sviluppi della tecnologia.
Questi elementi verranno confrontati con le aspirazioni e le necessità degli utenti.
Su queste basi, si trarranno indicazioni circa l'ulteriore evoluzione della architettura dei sistemi di elaborazione negli anni a venire.

2. Esame della struttura logica degli elaboratori più recenti

Come è noto, un elaboratore può essere considerato composto da
— una unità centrale di elaborazione (« central processor »)
— una memoria principale
— uno o più canali di ingresso-uscita dati.
Il modo con cui questi tre blocchi vengono fra loro interconnessi e il percorso seguito dai dati per transitare da un blocco all'altro, dà luogo a quello che solitamente viene definita come «struttura logica» o «ARCHITETTURA HARDWARE» del calcolatore.
Trascurando architetture di tipo particolare e specializzato o realizzazioni a livello di studio, possiamo raggruppare i più recenti sistemi per l'elaborazione di dati secondo tre schemi base:

1. struttura logica con connessione del tipo « CANALE ad UNITA' CENTRALE »

2. struttura logica con connessione del tipo « CANALE alla MEMORIA »

3. struttura logica con connessione del tipo « CANALE a GOVERNO di SISTEMA »

Ciascuna struttura logica ha pregi o difetti a seconda del particolare aspetto che si eleva a termine di confronto. In altre parole, ogni struttura logica permette di ottimizzare particolarmente uno fra i tanti parametri che concorrono a qualificare un elaboratore, es. velocità di elaborazione interna, operazioni di ingresso/uscita, costo del sistema, gestione dei dati di memoria, ecc.
L'organizzazione logica del tipo « CANALE ad UNITA' CENTRALE » (fig. 1) prevede la connessione dei canali di ingresso-uscita dati direttamente all'unità centrale la quale a sua volta risulta connessa con la memoria principale.
In questo tipo di organizzazione tutte le operazioni che richiedono un trasferimento di dati con la memoria, avvengono sotto il controllo dell'unità centrale. Tale struttura consente di usare la potenza di calcolo fornita dall'unità centrale stessa per controllare le unità periferiche e in special modo quelle che richiedono l'esecuzione di operazioni logiche complesse in un tempo breve. In tal modo è possibile contenere il costo del governo delle periferiche entro valori piuttosto bassi e quindi ottenere bassi costi a livello di sistema. Questo è il vantaggio principale presentato dalla struttura logica « canale ad unità centrale ». Con questa organizzazione è possibile connettere i sotto-sistemi periferici in modo integrato, cioè la funizonalità logica dell'unità centrale è usata anche per il controllo del sottosistema periferico.
Il limite principale di questa struttura logica risiede nel numero di canali, in grado di gestire operazioni sovrapposte, connettibili al sistema. Infatti per ogni canale integrato connesso, durante la fase di trasferimento dei dati fra l'unità periferica e la memoria, l'unità centrale deve sospendere il programma in corso di esecuzione e provvedere al controllo di questa operazione. Questo fatto porta come conseguenza

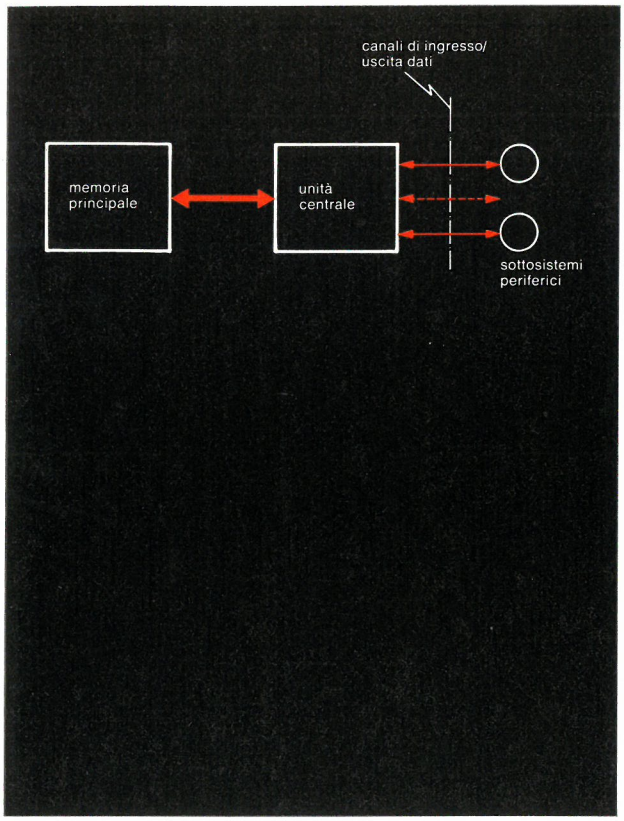


Fig. 1 - Struttura logica con connessione del tipo « canale ad unità centrale ».

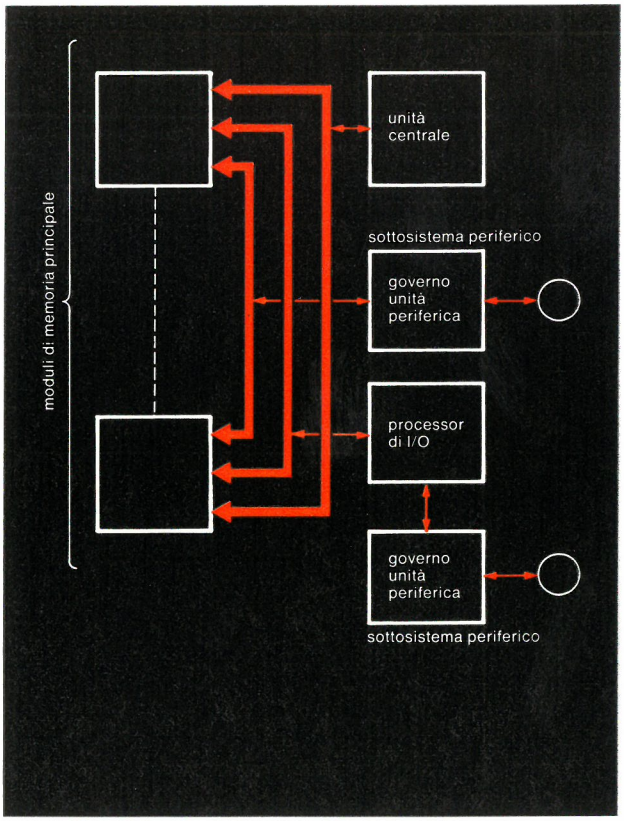


Fig. 2 - Struttura logica con connessione del tipo « canale alla memoria ».

primaria una diminuzione del numero medio di istruzioni eseguite nell'unità di tempo con conseguente riduzione delle prestazioni di sistema e, specialmente con canali periferici aventi una elevata frequenza di trasferimento, alla rapida saturazione della potenza logica dell'unità centrale stessa. Ad evitare in parte questo inconveniente sono stati adottati alcuni accorgimenti che hanno permesso di usare la detta struttura logica anche in sistemi con un elevato numero di canali esterni operanti fra loro in parallelo senza degradare pesantemente le prestazioni globali del sistema. Tuttavia questo problema viene completamente risolto solo ricorrendo alla struttura logica denominata « CANALE alla MEMORIA » (fig. 2). Tale tipo di struttura prevede la connessione diretta alla memoria di tutti gli altri blocchi componenti il sistema, cioè unità centrale, canali, processor delle operazioni di ingresso-uscita, ecc.

Il trasferimento di dati fra la memoria e le altre parti del sistema avviene senza il diretto intervento della unità centrale. In questo schema, ciascun gruppo funzionale, può essere considerato come un semplice sottosistema operante in connessione diretta con la memoria.

Il principale vantaggio e il punto di forza dell'organizzazione « canale alla memoria » consiste nel poter realmente ottenere la simultaneità operativa fra le unità periferiche e l'unità centrale. Ciò non significa solo possibilità di gestire un elevato numero di operazioni di I/0 fra loro in sovrapposizione, ma anche avere l'unità centrale dedicata solo alla esecuzione di istruzioni di programma e quindi capace di svolgere nell'unità di tempo una mole maggiore di lavoro.

Questo tipo di architettura presenta anche il vantaggio di una estrema flessibilità. Infatti volendo aumentare la potenzialità di calcolo dell'intero sistema, basta ad esempio connettere ai bocchettoni della memoria un'altra unità centrale senza dover sostituire l'intero sistema. È da notare che questa notevole flessibilità di tipo hardware non sempre trova il corrispettivo software cioè non è immediato definire un software base di sistema generalizzato e modulare in modo che possa crescere parimenti allo sviluppo hardware del sistema.

Il più delle volte quindi si finisce per non poter far uso, se non entro limiti ridotti, della grande flessibilità offerta da questo tipo di struttura.

Un punto particolarmente importante da tenere in considerazione per questo tipo di architettura hardware è il costo. Poiché ogni porta di memoria richiede una interfaccia, una logica di controllo, un processor o un governo per il controllo di ogni canale, il costo del sistema diventa ben presto molto elevato. Per superare in parte questo problema, è stato ideato uno schema in cui esistono solo due porte di memoria. Ad una porta viene connesso il processor per l'esecuzione delle istruzioni di calcolo interno, all'altra porta viene connesso un processor definito di I/0 poiché ad esso vengono demandate tutte le attività di scambio dati con le unità periferiche. Quest'ultimo processor controlla tutti i canali esterni.

Mediante quest'ultima struttura logica si è pervenuti

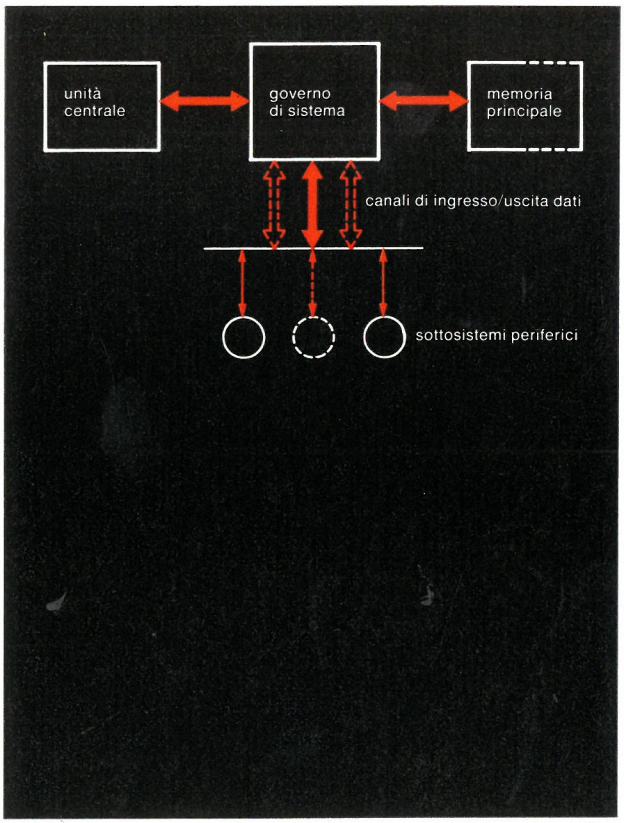


Fig. 3 - Struttura logica con connessione del tipo « canale a governo di sistema » .

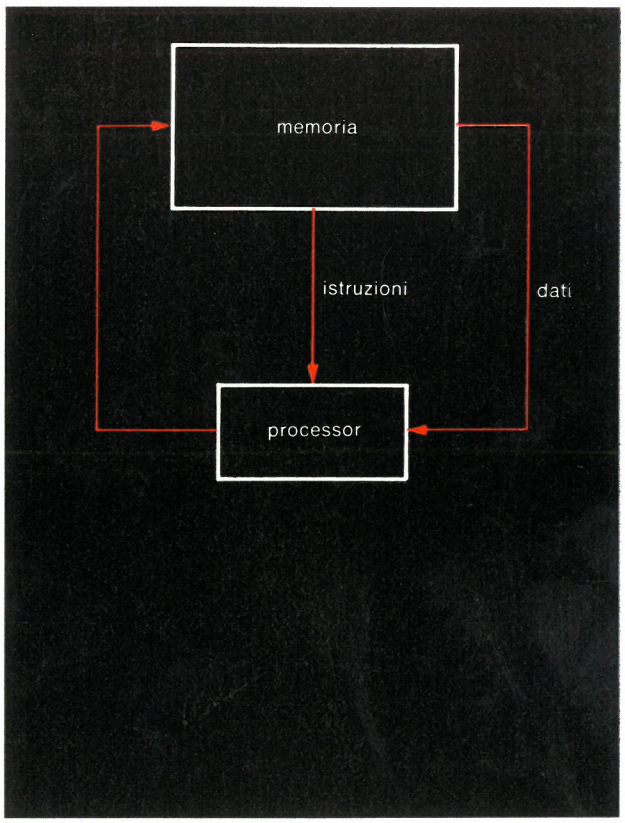


Fig. 4 - Serial processor, ovvero flusso singolo di istruzioni e di dati.

ad un buon compromesso fra il costo e le prestazioni raggiungibili dal sistema.

Nella struttura logica del tipo « CANALE a GOVERNO DI SISTEMA » (vedi fig. 3), la memoria, i processor, i canali di I/0, sono tutti connessi ad un unico governo centrale cui viene demandato il controllo e la risoluzione dei conflitti relativi allo scambio di dati che intercorrono fra i vari blocchi componenti il sistema.

Il blocco logico denominato « governo di sistema » controlla gli accessi alla memoria di tutti gli altri blocchi logici e pertanto funziona come uno smistatore di richieste. Questo tipo di struttura logica è molto simile alla struttura « canale alla memoria »; infatti entrambe le organizzazioni consentono l'accesso alla memoria senza richiedere l'intervento dell'unità centrale. Per contro se si considera il « governo di sistema » come una estensione dell'unità centrale, questo schema diventa molto simile alla struttura « canale all'unità centrale ». In realtà possiamo dire che l'architettura « canale al governo di sistema » è una buona soluzione di compromesso fra i due schemi precedentemente esaminati; da qui il motivo di un impiego molto diffuso.

I vantaggi offerti da questo tipo di struttura logica possono essere riassunti nei seguenti punti:

- l'unità centrale non risulta sovraccaricata dal lavoro conseguente il controllo dei canali durante lo scambio di dati con la memoria. Quindi si possono raggiungere prestazioni di sistema migliori cioè un maggior numero di istruzioni mediamente eseguite nell'unità di tempo
- la notificazione all'unità centrale relativa allo stato di esecuzione di una operazione di ingresso/uscita dati con le unità periferiche, è eseguita direttamente dal « governo di sistema ». Questo permette di liberare l'unità centrale dall'« overhead » di lavoro richiesto per determinare lo stato di avanzamento delle operazioni con le unità periferiche.

Dal momento che il costo della logica e dei circuiti di smistamento richiesti dal « governo di sistema » è molto vicino a quello richiesto da una unità centrale, ne deriva che un sistema che fa uso di questo tipo di struttura logica, anche nella versione minima ha un costo sempre piuttosto elevato. Al fine di minimizzare l'incidenza del costo del « governo di sistema » sul costo dell'intero sistema, a volte sono state adottate le seguenti semplificazioni:

- i canali esterni comunicano con il « governo di sistema » tramite un unico bocchettone assegnato dinamicamente al canale che lo richiede
- il « governo di sistema » contiene solo circuiti di smistamento delle informazioni provenienti dai vari blocchi logici; non viene eseguita alcuna priorità di servizio
- il « governo di sistema » opera l'assegnazione dell'accesso alla memoria sulla base di un algoritmo molto semplice (ad esempio « primo arrivato primo servito »).

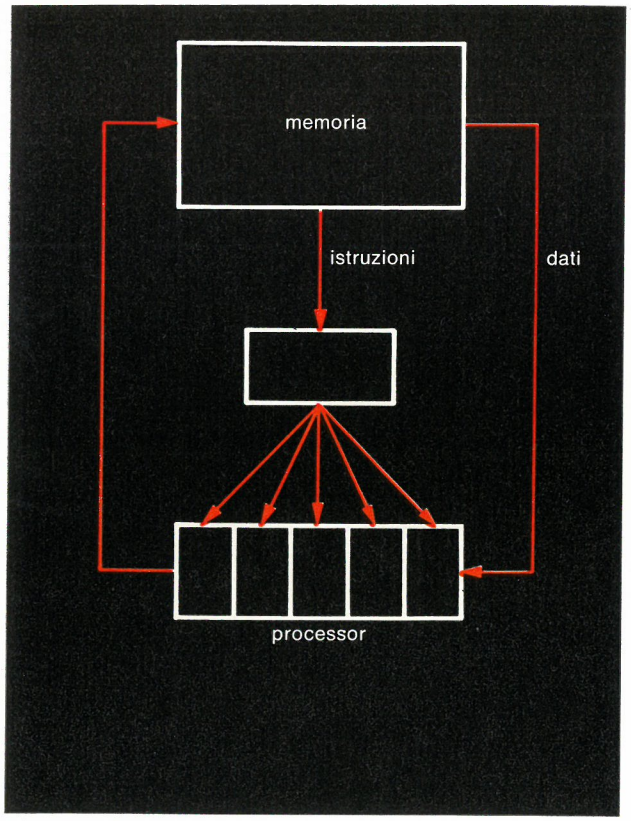


Fig. 5 - Pipeline processor, ovvero flusso multiplo di istruzioni e singolo di dati.

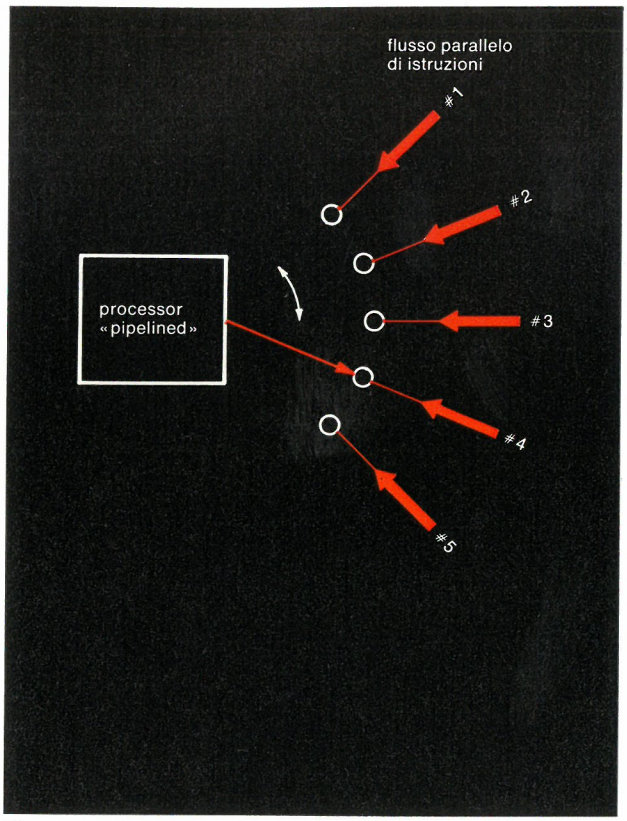


Fig. 6 - Organizzazione « interlace ».

3. Tecniche più recenti di realizzazione dei blocchi fondamentali di un elaboratore

La precedente schematizzazione, che ha portato ad individuare tre tipici modi secondo cui connettere tra loro i blocchi logici costituenti un calcolatore, dà solo una visione parziale delle alternative logiche possibili per arrivare alla definizione di un elaboratore. Infatti nell'ambito di ciascun blocco logico è ulteriormente possibile adottare uno schema ed una struttura logica particolarmente adatta al raggiungimento di specifiche prestazioni.

a) Esaminando il blocco logico « unità centrale » (central processor) e considerando il modo con cui le istruzioni di programma e i dati vengono operati, possiamo distinguere le seguenti strutture logiche [2]:

• *Serial processor* (fig. 4); altrimenti detto « flusso singolo di istruzioni e di dati ». In questa struttura logica, sia le istruzioni che i dati, vengono trattati dall'unità centrale in modo sequenziale e seriale; cioè le istruzioni vengono interpretate ed eseguite una alla volta secondo la sequenza logica stabilita nel programma stesso.

In tale tipo di struttura, l'aumento di prestazioni è ottenuto ampliando il parallelismo interno delle reti operative della unità centrale, ad esempio operando su 16 anziché su 8 bit.

• *Pipeline processor* (fig. 5), struttura logica che permette di operare su un « flusso multiplo di istruzioni e singolo di dati ». È costituita da un insieme di moduli o unità hardware connesse in successione uno dopo l'altra, ciascuna in grado di eseguire una particolare funzione logica. Ogni unità, ultimato il lavoro che gli compete, fornisce i risultati parziali al modulo successivo per il proseguimento dell'operazione; l'operazione risulterà completata quando un dato avrà percorso tutti i moduli che costituiscono la rete. I moduli operano fra loro in parallelo. Un esempio per chiarire quanto detto. Pensiamo ad una rete parallela binaria capace di eseguire la somma di due operandi ciascuno di 16 bit. Spezziamo ora la rete in quattro moduli; cioè, fisicamente, realizziamo a tre livelli diversi interni alla rete stessa, delle sconnessioni circuitali. Otterremo così per ciascun modulo un certo numero di ingressi e di uscite. Se ora, ad eccezione degli ingressi del primo modulo e delle uscite dell'ultimo modulo, connettiamo le uscite del modulo precedente con gli ingressi del modulo successivo interponendo una stazione di staticizzazione dei dati, avremo un sommatore identico a quello di partenza (a parte la capacità di memorizzazione intermedia). Supponiamo ora di far funzionare la rete con un ciclo di temporizzazione T pari al più lungo fra i tempi di elaborazione dei moduli che la compongono. Presentando dei dati al primo modulo e facendo susseguire cicli di temporizzazione successivi, a regime, avremo che, alle uscite dell'ultimo modulo, i risultati saranno disponibili ad ogni ciclo T. Quindi, nel caso preso in esame, trattandosi di una rete composta da quattro moduli, possiamo constatare di aver guadagnato per ogni operazioni 3 T di tempo. In effetti come appare subito evidente, non sempre è possibile sfruttare appieno le presta-

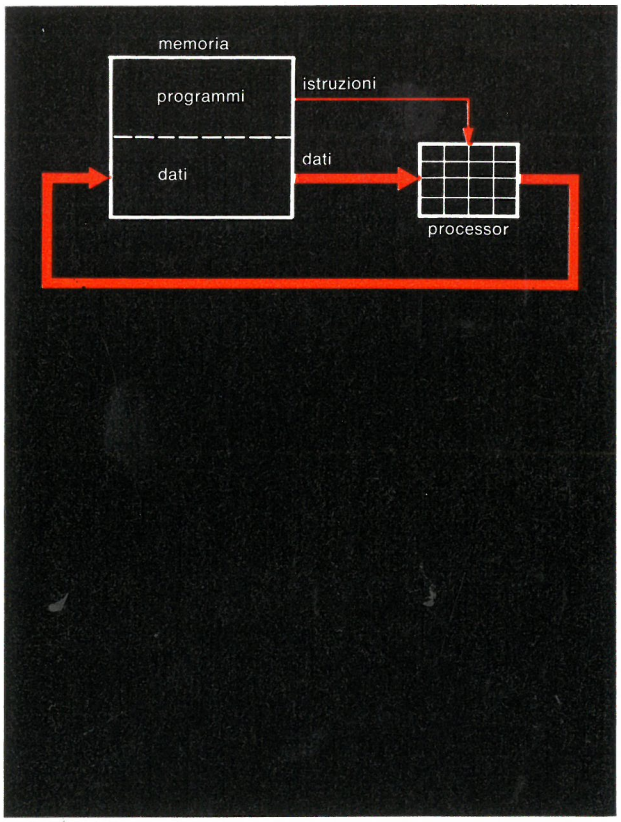


Fig. 7 - Array processor, ovvero flusso singolo di istruzioni e multiplo di dati.

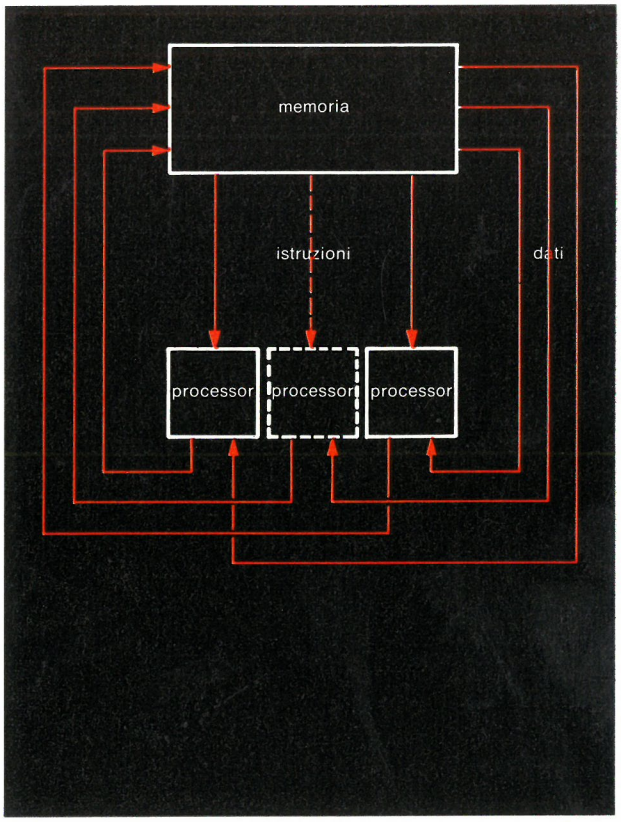


Fig. 8 - Multiprocessor, ovvero flusso multiplo di istruzioni e di dati.

zioni di questa struttura in quanto la massima velocità è ottenuta solo se non vengono introdotte frequenti variazioni al tipo di operazione eseguita, in modo che le fasi di riempimento e svuotamento completo della rete rappresentino un caso poco frequente.
Il concetto della struttura « pipeline » è, in sostanza, analogo a quello della catena di lavorazione: se non si dovesse iniziare la fabbricazione di un'auto prima che l'auto precedente sia completata, si costruirebbero, a parità di condizioni, meno auto. È importante però che sulla stessa linea si cambi il meno possibile il tipo di auto da costruire.
Questa struttura è definita del tipo « flusso multiplo di istruzioni » in quanto esaminando in un certo intervallo di tempo le informazioni contenute nel processor, si individua una sequenza seriale di dati relativi a più istruzioni dello stesso programma.
La struttura pipeline viene usata soprattutto per ottenere velocità di elaborazioni molto elevate sfruttabili particolarmente con programmi che eseguono la stessa sequenza di operazioni un elevato numero di volte.
Una variazione sul tema « struttura pipeline » è la organizzazione logica denominata *« interlace »* (fig. 6). In questo tipo di struttura, una unità centrale di tipo « pipeline » riceve ed esegue sequenzialmente flussi diversi di istruzioni. Quindi, in un dato istante, l'unità centrale è « riempita » con dati appartenenti a sequenze di programmi diversi; si può così ottenere un miglior uso della unità centrale, mantenendola sempre operante minimizzando gli svuotamenti o riempimenti completi delle reti.

In sostanza, quindi, l'« interlace » è una struttura « pipeline » operante in multiprogrammazione.

• *Array processor* (fig. 7), *associative processor, orthogonal processor.* Si tratta di strutture logiche che permettono di operare su un « flusso singolo di istruzioni e multiplo di dati ». Le varie strutture differiscono fra loro essenzialmente per il modo con cui si accede ai dati depositati nella memoria; in comune hanno la caratteristica di operare i dati in modo parallelo. In genere l'unità centrale prevede una pluralità di organi di calcolo (reti aritmetiche, registri staticizzatori di dati, ecc.) connessi tra loro secondo un certo schema, ad esempio a matrice, che operano in parallelo sui dati provenienti dalla memoria. Per i problemi matematici di grandi dimensioni (calcolo matriciale, vettoriale, equazioni differenziali) un'organizzazione logica di questo tipo permette di ottenere velocità di calcolo da 100 a 1000 volte superiori a quelle ottenibili con unità centrali aventi una struttura non array.

• *Multiprocessor* (fig. 8), struttura logica definita anche come « flusso multiplo di istruzioni e di dati ». Una struttura di unità centrale viene definita come multiprocessor quando è costituita da una associazione di processor, ciascuno dei quali indipendentemente inizializzabile e capace di indirizzare la stessa memoria fisica. Dal punto di vista software un sistema « multiprocessor » opera sotto il controllo di un solo sistema operativo a cui è demandata la gestione di tutte le risorse, compresi i due o più pro-

cessor. Quando la comunicazione fra processor, ciascuno dotato di memoria propria, avviene ad esempio mediante memoria di massa o « link » di comunicazione, nasce l'organizzazione definita MULTI-COMPUTER. I vantaggi di una organizzazione multiprocessor sono:

— velocità esecutiva molto elevata in genere ottenuta per qualsiasi tipo di programma (scientifico o commerciale)

— elevata disponibilità (availability) necessaria per sistemi che operano in tempo reale oppure in modo « on-line ».

b) Passiamo ora a considerare il blocco « memoria ». La « memoria principale » di un elaboratore, può essere realizzata secondo alcuni schemi logici e funzionali che permettono di migliorare sensibilmente le prestazioni dell'intero sistema a cui viene connessa. Oltre allo schema tradizionale (accesso casuale e successivo di informazioni) ricordiamo:

— memorie « interleaved » (intercalate)
— memorie « pipelined »
— memorie « array ».

Il primo tipo di organizzazione è già stato descritto in [1]; i principi di funzionamento degli altri due tipi sono analoghi a quelli descritti in precedenza per le unità centrali.

Ciascun tipo di organizzazione è particolarmente adatta per essere usata in una certa struttura logica.

Degna di menzione è l'introduzione — in alcuni elaboratori — fra l'unità centrale e la memoria principale di un blocco di memoria molto veloce e di dimensioni ridotte denominato memoria «*cache*». L'interposizione di una memoria cache, avente un tempo di ciclo più breve di quello della memoria principale, paragonabile al tempo di ciclo dell'unità centrale a cui risulta connessa e in grado di memorizzare i blocchi di dati e di programma più frequentemente usati, consente al sistema di operare per buona parte del tempo come se possedesse una memoria principale di velocità pari alla velocità della « cache ».

Questo livello di memoria, invisibile al programmatore e al programma, ha aperto un discorso molto più ampio: l'introduzione di una memoria principale « a più livelli ». Una memoria principale organizzata in tale modo permette di impiegare supporti fisici per la memorizzazione delle informazioni che a livelli man mano più periferici, presentano velocità minori ma in compenso costi inferiori. Si possono così ottenere memorie principali di grandi dimensioni a costi contenuti.

Le implicazioni operative e logiche derivanti dall'uso di una memoria organizzata in « più livelli » esulano dagli scopi di questo articolo; per un esame di questo argomento si veda, ad esempio, il riferimento bibliografico [3].

Un sistema usato per ottimizzare l'impiego della memoria di un elaboratore, è quello della « memoria virtuale », che consiste, essenzialmente nel tenere nella memoria principale solo le parti di programma e di dati più frequentemente utilizzate. Mediante l'uso combinato di una rete hardware e di un software (sistema operativo) appositamente realizzato per questo tipo di gestione, un elaboratore dotato di memoria virtuale permette all'utilizzatore di lavorare come se avesse a disposizione una memoria praticamente illimitata. Ciò è ottenuto suddividendo la memoria del sistema in « pagine » o « segmenti » ognuno dei quali può essere richiesto dalle memorie ausiliarie di massa (per esempio dalla memoria dischi) e trasferito quando necessario, nella memoria principale o viceversa.

c) Per quanto riguarda infine l'organizzazione funzionale dei canali di ingresso-uscita dati, si riscontrano due soluzioni tecniche ormai largamente diffuse:

- *canale multiplo* (multiplexer) in grado di controllare più periferiche fra loro operanti in sovrapposizione. In genere al canale multiplo vengono connessi sottosistemi con una velocità di trasferimento dati piuttosto bassa.
- *canale singolo*, in grado di controllare un solo sottosistema alla volta ma con velocità di trasferimento dati piuttosto elevata.

4. Gli ultimi sviluppi tecnologici

La realizzazione di alcune fra le strutture logiche precedentemente descritte è stata possibile solo grazie ai recenti sviluppi della tecnologia.

Non solo, ma ormai il modo stesso di progettare i calcolatori sta subendo una profonda trasformazione imposta principalmente dall'avvento di circuiti con caratteristiche e prestazioni estremamente innovative. L'effettivo salto di qualità è stato segnato dall'apparizione e poi dall'applicazione della microelettronica [4].

L'integrazione dei circuiti su larga scala (LSI, large-scale-integration), ottenuta come evoluzione e perfezionamento delle precedenti tecniche di integrazione circuitale, ha portato vantaggi enormi per quanto riguarda l'aumento della velocità operativa, e quindi della potenza logica disponibile e la diminuzione degli ingombri, nonché della potenza dissipata e dei costi.

Nel giro di qualche anno si è passati da poche decine di dispositivi logici per « chip » a diverse centinaia con la prospettiva ormai imminente di arrivare ad impaccamenti ancora maggiori. Negli ultimi 6-7 anni l'evoluzione di tali dispositivi logici ha reso possibile un miglioramento del rapporto costo-prestazioni superiore di un fattore 100.

Attualmente il mercato dei semiconduttori offre famiglie di circuiti [5] con caratteristiche logiche, di velocità, di dissipazione, di costo, fra loro diverse e complementari. Gli ormai diffusissimi circuiti TTL (Transistor-Transistor-Logic) stanno per essere sostituiti da nuove versioni dello stesso circuito che, a pari velocità, dissipano circa un decimo della potenza precedente (2 milliwat con tempo di commutazione di 5 nanosecondi). Per gli utilizzatori che richiedono ai circuiti logici velocità superiori a quelle offerte dai TTL è disponibile la famiglia ECL (Emitter-

Coupled-Logic), con tempi di commutazione attorno ai 500 picosecondi ed un consumo di potenza contenuto entro valori accettabili.
Nuove famiglie di circuiti logici si stanno intanto affacciando, come la I^2L (Integrated-Injection-Logic), particolarmente interessante per realizzare alte densità di impaccamento ,essendo la potenza dissipata per « gate » dell'ordine dei nanowatt, mentre i tempi di commutazione si aggirano sui 10 nanosecondi.
Ma, tra i più recenti sviluppi della tecnologia LSI, quello che forse più di ogni altro offre nuove aperture è costituito dal cosiddetto « microprocessor », ossia da un « chip » in cui sono realizzate tutte le funzioni basilari di una intera unità centrale.
Queste unità centrali sono microprogrammate ed il set di microistruzioni (firmware) è contenuto, a parte, in uno o più « chip » di memoria a sola lettura (ROM). (1)
In generale, i costruttori forniscono un corredo di altri « chip » da usare congiuntamente a quello della micro unità centrale.
Attualmente un insieme tipico è costituito da (fig. 9):

• un dispositivo di unità centrale (microprocessor). Interamente a questo circuito sono disponibili alcuni registri (da un min. di 2 a un max. di 8) di uso generale; un gruppo di registri (8 o 16) organizzati a « pila » (stack) o in assenza di questo, due registri usati come indirizzatori (pointer) di una pila di registri realizzabile esternamente al dispositivo; una unità aritmetica capace di eseguire operazioni di tipo binario e logico. A volte è presente anche una rete in grado di operare con dati decimali, e una operazione di scorrimento (shift). Il parallelismo interno di queste reti operative e di questi registri è in genere di 4 oppure di 8 bit. Il tempo richiesto per l'esecuzione di una microistruzione è variabile a seconda del tipo di circuito; i valori più comuni vanno da 1.5 a 12 microsecondi.

• un dispositivo di input/output. Questo « chip » contiene sostanzialmente dei registri usati come memorie di transito (buffer) dei dati da inviare o inviati dalle unità periferiche esterne.

• una memoria a sola lettura (ROM). Tale memoria è adibita alla conservazione dei microprogrammi che concorrono al controllo dell'intero sistema.

• una memoria di lettura/scrittura (RAM: Random Access Memory) da usarsi come memoria di lavoro per le operazioni che debbono venire svolte dal minisistema.

Il grande vantaggio presentato da questi dispositivi, è di realizzare una capacità logica e funzionale molto elevata, e di conseguenza un notevole grado di flessibilità. Basta sostituire la memoria ROM per variare totalmente le funzioni logiche svolte dal complesso senza variare o modificare le connessioni elettriche. Nel campo dei calcolatori, questi circuiti hanno già

(1) Sul concetto di microprogrammazione si veda, ad esempio, l'articolo di A. Brioschi « Introduzione al Firmware », sul N. 2, 1974, di questi « Quaderni ».

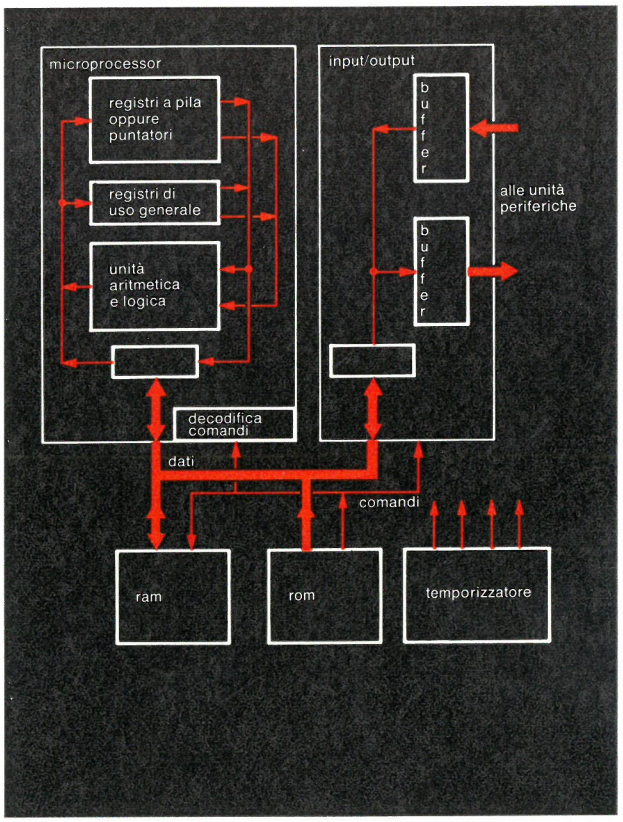


Fig. 9 - Schema logico di un micro sistema di elaborazione composto da 5 "chip".

trovato larga diffusione come « controller » di unità periferiche, per esempio stampanti seriali, terminali, lettori di schede. Quello che, attualmente, impedisce il loro uso estensivo in tutti i blocchi che formano un elaboratore di dati è principalmente la velocità operativa non molto elevata.
Attualmente questi circuiti sono realizzati, per la maggior parte, con una tecnologia MOS, che consente tempi di esecuzione non inferiori a 1,5 microsecondi. Vengono però ora annunciati microprocessor realizzati con tecnologia bipolare, aventi tempi operativi assai migliori (circa 0,5 microsecondi), con un parallelismo base limitato (2-4 bit) ma espandibile (per parallelamento) sino a 16 o più bit.
Come potranno essere sfruttati negli elaboratori i vantaggi funzionali ed economici offerti dalle nuove tecnologie? E come influiranno sulla struttura logica dell'elaboratore? Tra le diverse tendenze e possibilità, cercheremo di individuare, nel seguito, quelle più significative e probabili.

5. Evoluzione della struttura logica del calcolatore

• *Struttura modulare ad elementi non specializzati.*
Una tendenza fondamentale, che sembra possa ormai diventare realizzabile, è quella di definire e strutturare l'elaboratore in base alle necessità dell'utilizzatore. In altre parole, si dovrebbe tendere alla realizzazione di un elaboratore costituito da blocchi logici niente affatto specializzati ma in grado di essere carat-

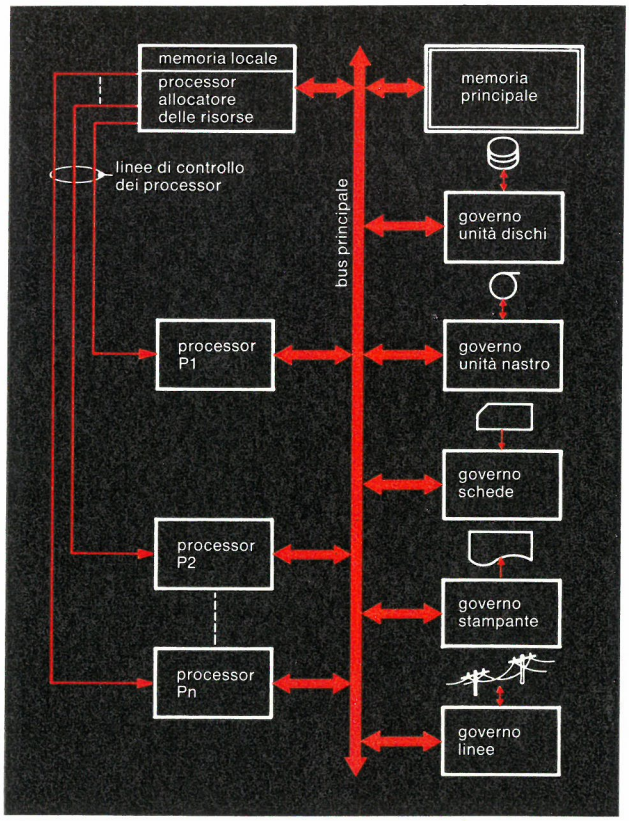


Fig. 10 - Insieme di processor di tipo generalizzato, fra loro connessi mediante un bus, controllati da un processor pilota, comunicanti con la memoria e le unità periferiche.

terizzati secondo uno schema operativo e funzionale ottimizzato in base all'applicazione.
Con questo tipo di organizzazione si dovrebbero raggiungere due obiettivi di primaria importanza:
— diminuzione dei costi di elaborazione (a livello sistema), ottenuti essenzialmente mediante un uso migliore e più razionale delle risorse,
— diminuzione delle difficoltà inerenti all'uso dell'elaboratore, cioè semplificazione delle procedure e del dialogo uomo-macchina.
Oggi, nella maggior parte dei casi, l'utilizzatore non chiede tanto un aumento della potenza di calcolo quanto una maggior facilità nel dialogo con la macchina. Questa maggiore facilità e semplificazione di impiego si riferisce, in particolare, a tutte le attività collaterali richieste per la gestione di un centro di calcolo: preparazione dei dati, gestione dei programmi e degli archivi di dati, aggiornamento del software, introduzione e prelievo dalla libreria dei programmi di utilità, ecc.
L'orientamento verso una maggiore semplicità operativa e gestionale dell'elaboratore, unitamente ad una riduzione dei costi, sembra poter trovare attuazione concreta attraverso l'impiego di circuiti a larga integrazione e, in particolare, del concetto di microprocessor.
Un elaboratore del futuro potrebbe essere costituito da un insieme di processor di tipo generalizzato, fra loro connessi mediante un unico canale (« bus »), controllati da un processor pilota, comunicanti con la memoria principale e le unità periferiche di ingresso-uscita dati (fig. 10) [6].
Ciascun processor può disporre di una memoria di controllo (a sola lettura: read-only) e di una memoria di lavaro (con lettura e scrittura: read-write). Nella memoria di controllo risiedono tutti i microprogrammi necessari alla esecuzione delle varie operazioni di trasferimento dati con le unità periferiche, esecuzione delle istruzioni di calcolo, ecc. La memoria di lettura-scrittura, usata come memoria di lavoro, può essere considerata come una memoria « cache » operante in connessione con la « memoria principale ». In tal modo si perviene ad una struttura logica in cui ciascun organo di elaborazione (processor P_1, P_2, ...) possiede una propria memoria operativa. Ciò diventerà economicamente possibile in quanto si avranno dispositivi di memoria MOS aventi un costo per bit molto ridotto e un alto impaccamento (4, 8, 16 mila bit per singolo chip). Gradi analoghi di impaccamento e di riduzione dei costi saranno raggiunti anche per le memorie a sola lettura. Questo fatto porta come conseguenza ad un uso sempre più intensivo del firmware; parecchie funzioni di sistema in passato a carico del software e in particolare del sistema operativo, verranno demandate al firmware con il vantaggio di una maggiore velocità operativa.
La struttura logica schematizzata in fig. 10 non deve essere vista solo come una organizzazione « multiprocessor » nel senso tradizionale che si suole assegnare a questo termine cioè realizzante operativamente « flussi multipli di istruzioni e di dati ». Ciascun processor P_1 ... P_n può essere impiegato per svolgere una qualsiasi delle n attività che sono richieste in un elaboratore. Così un utente che non richiede velocità operative particolarmente elevate caratterizzerà in definitiva il suo elaboratore secondo una struttura ad esempio del tipo « canali all'unità centrale ». In tal caso i processor disponibili saranno, ad esempio, ripartiti in modo da svolgere funzioni del tipo:

P_1 - controllo del primo indirizzo di memoria
P_2 - controllo del secondo indirizzo di memoria (per le istruzioni che operano con due indirizzi)
P_3 - esecuzione delle operazioni logiche e aritmetiche ecc.

Ciò sarà ottenuto « istruendo » opportunamente, mediante microprogrammi, il processor principale del sistema.
Una organizzazione di questo tipo ha il pregio di permettere all'utilizzatore di strutturare il sistema in base alle sue reali necessità operative, definendo cioè uno schema logico che permette di volta in volta l'ottimizzazione delle risorse e la semplificazione delle procedure operative.
L'elevata flessibilità di una organizzazione come quella descritta, è sfruttabile sia dall'utilizzatore senza sofisticate esigenze operative sia dall'utilizzatore che richiede un'elevata potenzialità di calcolo. Così, nella fascia dei piccoli sistemi, caratterizzando opportunamente uno o più processor è possibile eseguire

delle operazioni di preparazione dei dati da elaborare, sfruttando la potenza logica del calcolatore stesso ed eliminando le apparecchiature off-line a ciò adibite (perforatori di schede, di banda, ecc.).
Ad esempio utilizzando la tastiera-video (o stampante) della console, è possibile preparare i dati che successivamente verranno elaborati in modo batch, registrandoli sul disco di sistema in una zona riservata a questo scopo.
La possibilità di caratterizzare « dinamicamente » la funzionalità del sistema permette inoltre di ottenere una elevata affidabilità dell'elaboratore. In caso di malfunzionamento di una rete logica, si può pensare di usare un processor come « processor diagnostico » con il compito di analizzare il comportamento di tutto il resto del sistema. Mediante l'esecuzione di una serie opportuna di routine definibili come « stimolo-sintomo » si può arrivare alla individuazione del circuito guasto; i sintomi raccolti dal processor diagnostico possono essere inviati mediante linea telefonica ad un centro di assistenza che provvederà alla riparazione del sistema. È importante notare che in una struttura come quella descritta, **l'insorgere di un guasto non** causa l'arresto del sistema, ma solo una degradazione nel funzionamento dell'elaboratore, cioè il sistema continua a funzionare escludendo il processor affetto dal guasto.

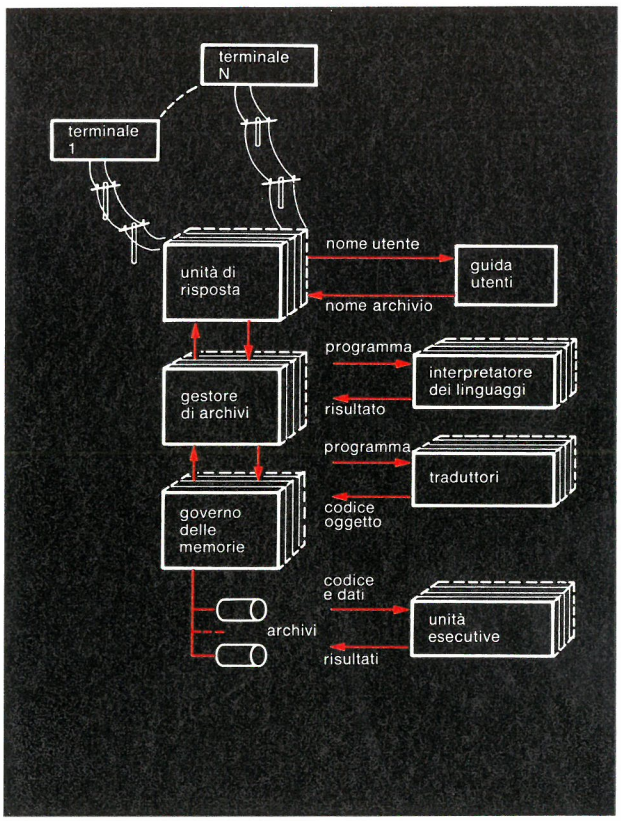


Fig. 11 - Sistema con « intelligenza » distribuita.

• *Intelligenza distribuita.*

Considerando i recenti progressi nel campo della trasmissione dati è realistico pensare che nell'immediato futuro si avrà un uso intensificato di terminali remoti connessi mediante linea telefonica ad un elaboratore centrale. Mediante questi terminali di basso costo, l'utilizzatore potrà colloquiare con il calcolatore in modo « interattivo » cioè con uno scambio diretto di domande-risposte. L'utente potrà sottoporre alla macchina nuovi programmi, collaudare quelli in fase di preparazione, lanciare programmi memorizzati in archivio, ecc. Questa soluzione permette a più utilizzatori di far uso dell'enorme potenza di elaborazione offerta da un grande calcolatore ad un prezzo modesto e con tempi di risposta eccezionali.
Rispetto agli attuali sistemi « time-sharing » i futuri sistemi anziché essere costruiti attorno ad un enorme calcolatore, saranno probabilmente realizzati mediante un insieme di processor, ciascuno assegnato dinamicamente alla esecuzione di un particolare lavoro [7, 8]. Se vogliamo si tratta ancora della struttura logica rappresentata in fig. 10 cioè di un insieme di microprocessor, ognuno dei quali viene chiamato in causa, oppure no, a seconda del tipo e del carico di lavoro richiesto. In pratica è come se l'utilizzatore disponesse, per ogni unità identificabile del suo lavoro, di un microprocessor che gestisce gli interessi relativi a quella attività, cioè richiede l'accesso agli archivi, lo spazio di memoria, i dischi, i compilatori, ecc.
Quindi anziché concentrare la capacità di elaborazione, la tendenza è quella di distribuirla portandola direttamente anche alla periferia cioè alla fonte stessa in cui vengono generate e raccolte le informazioni e i dati da elaborare.
Come schematizzato in fig. 11, quando un utilizzatore da un terminale chiamerà il calcolatore per l'esecuzione di un certo lavoro, esisterà una « unità di risposta » cioè un unico processor a lui esclusivamente assegnato e adibito al controllo del codice utente e alla gestione del dialogo calcolatore-terminale; un microprocessor adibito alla gestione dei files usati da quell'utilizzatore; un microprocessor adibito alla traduzione del programma; ecc. Cioè, dall'inizio del dialogo sino alla fine, un insieme di unità logiche saranno assegnate ad un utilizzatore che le monopolizza per tutto il tempo del dialogo. È come se il calcolatore centrale fosse costituito da n « strati » di unità logiche, con la possibilità di occupare uno strato alla volta ottenendo così una notevole flessibilità operativa.
Sistemi strutturati nel modo descritto, richiederanno una notevole quantità di memorie in linea. Attualmente, alcuni indirizzi tecnologici (memorie « a bolle magnetiche » e memorie « a trasferimento di carica ») sembrano indicare la possibilità di realizzare ampie capacità di memoria (ordine del centinaio di megabytes) con velocità adeguata e costi accettabili. (2)

(2) Queste memorie si situano nella fascia tra le attuali memorie ad accesso elettronico e quelle ad accesso meccanico, di cui si parla nell'articolo di N. Minnaja, « Magnetismo e Memorie di massa » pubblicato in questo stesso numero. Tali memorie formeranno oggetto di articolo in uno dei prossimi numeri di questi « Quaderni ».

• *maggior protezione (security)*

Con il crescere delle dimensioni del calcolatore (memorie più grandi, maggior volume di dati in linea) diventa sempre più importante fornire una buona protezione (« security ») all'intero sistema. Inoltre la richiesta di accesso da parte di più utilizzatori ad un archivio comune di dati, pone problemi come la garanzia della integrità dei dati, l'accesso controllato a dati privilegiati, ecc. Tutto questo comporta un aumento della complessità del software di gestione della « base dei dati ». Al fine di contenere ed isolare il problema della gestione dei dati, si tende verso la realizzazione di sistemi in cui il « data base » è affidato ad un calcolatore apposito superprotetto (« data base machine ») connesso all'elaboratore che esegue il programma principale (« program machine ») mediante una interfaccia fisica e logica sottoposta a controlli molto rigorosi.

Seguendo questa via di sviluppo, i progettisti dei futuri sistemi per la elaborazione dei dati dovranno affrontare e risolvere il problema dell'uso comune di risorse da parte di programmi o utilizzatori diversi garantendo la massima integrità, affidabilità e riservatezza ai dati trattati. Per integrità di un sistema (system integrity) si intende la capacità di questo di non deformare i dati in ingresso (integrità degli archivi - « files integrity »), elaborarli secondo il programma previsto (hardware-software integrity) e fornirli in uscita in modo corretto anche quando si verificassero eventi anormali all'interno del sistema stesso. Ovviamente vengono considerati come facenti parte del sistema l'hardware, il software, il firmware, i supporti per la memorizzazione dei dati e le procedure operative svolte dall'uomo.

Come risulta evidente, il concetto di protezione dà luogo ad una problematica molto vasta che va dall'uso di controlli hardware (esempio bit di controllo associati alle informazioni, raddoppio di reti operative, ecc.) sino ad un sistema di protezione software o combinata software-firmware-hardware che impedisca l'interferenza fra un programma ed un altro operanti in un ambiente di multiprogrammazione in cui le risorse fisiche sono ripartite nel tempo fra più utenti. Sfortunatamente ciò che si desidera proteggere e controllare non riguarda solo le risorse fisiche (hardware) del sistema. Per queste, l'accesso e l'uso può essere il più delle volte facilmente controllato usando appositi meccanismi hardware. Un discorso ben diverso deve invece essere fatto per la protezione dei programmi e dei dati definiti dall'utilizzatore.

Per affrontare organicamente questo problema, vengono studiate tecniche di protezione basate sull'identificazione di risorse critiche del sistema, cui vengono attribuite proprietà di « autorizzazione all'accesso » [9, 10].

Un esempio ormai universalmente noto di sistema che cura particolarmente l'aspetto della « security » è rappresentato dal sistema MULTICS (MULTIplexed Information and Computing Service) [11]. Il sistema MULTICS (sviluppato in collaborazione tra il Massachusetts Institute of Technology e la Honeywell) è stato infatti espressamente concepito per realizzare una « *computer utility* » cioè, in pratica, una generalizzazione del concetto di « time sharing », in cui un meccanismo centralizzato è in grado di dispensare in modo sicuro ed efficiente le risorse del calcolatore ad una larga massa di utilizzatori remoti, in modo analogo ai servizi di distribuzione dell'energia elettrica o telefonica.

È presumibile che i futuri sistemi per la elaborazione di dati, partendo dalla esperienza del MULTICS, realizzino queste importanti caratteristiche di « security », ormai sempre più richiesta dagli utilizzatori.

6. Ulteriori tendenze evolutive. L'impiego del firmware

Una maggiore disponibilità di memoria avrà una diretta ripercussione sul software di gestione dell'intero sistema portando presumibilmente alla realizzazione di moduli operativi dotati di una funzionalità e operabilità superiore alla attuale. Ci si orienterà soprattutto verso una semplificazione ed unificazione dei linguaggi di programmazione, puntando allo snellimento delle procedure di dialogo uomo-macchina. Questa tendenza evolutiva sentirà pesantemente l'influsso di un uso sempre più diffuso del firmware. Sino ad oggi la maggior parte dei sistemi per l'elaborazione di dati con controllo microprogrammato, usano il firmware per l'interpretazione e l'esecuzione delle istruzioni a livello « linguaggio di macchina » e per l'emulazione di altri elaboratori. In altre parole, si è cercato soprattutto di realizzare una elevata flessibilità.

Negli elaboratori futuri, si assisterà probabilmente ad una progressiva realizzazione in firmware di alcune funzioni attualmente in carico al software, puntando soprattutto alla velocizzazione di funzioni di uso generale e ripetitivo, alla creazione di strumenti più validi per il collaudo di nuovi programmi e ad un aumento della affidabilità dell'intero sistema [12]. Il « sistema operativo » è candidato certo ad una parziale conversione in questo senso poiché è costituito da « routines » altamente ripetitive e di uso molto frequente. Attualmente si sta pensando alla microprogrammazione delle cosidette « primitive » cioè delle funzioni tipo « sincronizzazione di processi », « servizio delle interruzioni », « priorità di lancio dei job », « assegnazione delle risorse », ecc. Il trasferimento di alcune funzioni dal software al firmware permette di avere un « nucleo centrale » del sistema operativo più ridotto come dimensioni e quindi meno soggetto a criticità e necessità di modifiche.

Inoltre, tutti i programmi per la gestione del ripristino in caso di errore nelle operazioni di ingresso-uscita dati, possono essere direttamente svolte dal firmware del sottosistema periferico.

In tal modo il sottosistema risulta rispetto al software, dal punto di vista della gestione degli errori, completamente autonomo cioè non richiede uno specifico

programma a volte laborioso e di difficile gestione. Un uso più intensivo del firmware porterà anche ad un miglioramento delle prestazioni dei linguaggi ad alto livello come « Fortran », « Cobol » e « PL1 ». I linguaggi di macchina diventeranno più potenti in quanto ad ogni istruzione di macchina si potrà far corrispondere un maggior numero di operazioni elementari. Pertanto ad ogni istruzione simbolica di un linguaggio ad alto livello, corrisponderà un minor numero di istruzioni di macchina e di conseguenza si otterrà:

— una traduzione più veloce dei programmi sorgenti
— una minore occupazione di memoria da parte dei programmi oggetto risultanti dalla traduzione
— una diminuzione del tempo di esecuzione.

In definitiva si può dire che tutti questi vantaggi porteranno ad una convergenza tra linguaggio simbolico e linguaggio di macchina e al limite si potrebbe arrivare ad un elaboratore provvisto di un firmware che accetta il Cobol o il Fortran o un altro linguaggio ad alto livello, come linguaggio di macchina.
La ragione di questa tendenza è da ricercare soprattutto nella maggior potenza in termini di velocità del firmware nei confronti del software e dell'avvento di circuiti ROM ad alto impaccamento e a basso costo.
In una situazione come quella descritta, è probabile che il software base, quello cioè comprendente compilatori, traduttori, sistemi operativi, risulterà semplificata sia come struttura logica che come spazio di memoria occupato.
Supponendo una diffusione sempre crescente del firmware, si può ritenere che per molti programmi applicativi la scrittura delle « routines » più usate venga fatta in firmware anziché in software.
L'impiego della microprogrammazione nei programmi di tipo applicativo, diventa particolarmente efficace quando:

— la esecuzione di una routine scritta in software risulta limitata dalle caratteristiche di velocità della unità centrale
— si generano parecchi risultati intermedi che non vengono utilizzati o non sono forniti come risultato finale del programma
— risulta particolarmente gravoso (dal punto di vista della funzionalità) sviluppare una certa funzione mediante software.

In genere si può ritenere che un programma scritto in firmware rispetto allo stesso scritto in software, abbia prestazioni (tempi di esecuzione) migliori di un fattore 5. Ben si comprende quindi l'interesse a « firmwarizzare » programmi applicativi quali il calcolo delle radici, il calcolo matriciale, le ricerche tabellari, ecc.

7. Conclusione

Dal vaglio delle più recenti tendenze nel campo della struttura logica degli elaboratori e degli sviluppi tecnologici, si possono trarre indicazioni sulla probabile evoluzione dell'architettura dei sistemi di elaborazione negli anni a venire.
Una conclusione di particolare importanza pratica è che, mentre l'elaboratore è oggi ancora uno strumento, sotto molti versi, piuttosto rigido, cui l'utilizzatore deve adattare i suoi problemi, i nuovi mezzi tecnologici ed i nuovi concetti logici promettono di rovesciare questa situazione, consentendo la realizzazione di macchine molto più flessibili, di più facile impiego e meglio ottimizzabili rispetto alle necessità dell'utente.
In definitiva, sembra lecito prevedere che l'elaboratore possa essere in futuro veramente « personalizzato » rispetto all'impiego, ed il suo uso reso estremamente più semplice.

8. Bibliografia

[1] M. ROSSI, *L'evoluzione dell'architettura dei sistemi,* Quaderni di Informatica, n. 1, marzo 1974.

[2] L.C. HIGBIE, *Supercomputer architecture,* Computer, Dec. 1973.

[3] R.L. MATTSON, *Evaluation of multilevel memories,* IEEE Transactions on Magnetics, n. 4, Dec. 1971.

[4] F. FILIPPAZZI, *Microelettronica, una nuova dimensione dell'elettronica,* Alta Frequenza, Sett. 1973.

[5] L. ALTMAN, *Logic's leap ahead creates new design tools for old and new application,* Electronics, Feb. 21, 1974.

[6] G. REYLING Jr., *Performance and control of multiple microprocessor systems,* Computer Design, March 1974.

[7] C. FOSTER, *A view of computer architecture,* Comm. of ACM, July 1972.

[8] A.J. WEISSBERGER, *Distributed function microprocessor architecture,* Computer Design, Nov. 1974.

[9] G.J. POPEK, *Protection structures,* Computer, June 1974.

[10] G.S. GRAHATI, P.J. DENNING, *Protection - principles and practise,* AFIPS-SJCC, 1972.

[11] F.J. CORBATO, C.T. CLINGEN, J.H. SALTZER, *Multics - The first seven years,* AFIPS-SJCC, 1972.

[12] A.K. AGRAWALA, T.G. RAUSCHER, *Microprogramming: prospectives and status,* IEEE Transactions on Computers, n. 8, Aug. 1974.

Il magnetismo e le memorie di massa

NICOLA MINNAJA
Honeywell Information Systems Italia
Centro di Ricerca e Progettazione di Pregnana Milanese

1. Introduzione: la gerarchia delle memorie

Un sistema di elaborazione contiene sempre una *memoria*, cioè un componente in cui rimangono depositati i dati che vengono progressivamente elaborati e i programmi che vengono utilizzati. Funzione quindi di questa memoria è contenere tutte quelle informazioni che possono variare per i diversi utenti e che quindi non possono essere registrate una volta per tutte nei circuiti dell'elaboratore.

In linea di principio è possibile usare, all'interno dello stesso sistema, una tecnologia unica per la memorizzazione di tutte le informazioni necessarie. In pratica però questa impostazione si è dimostrata decisamente svantaggiosa, in quanto non permette di conciliare le esigenze di velocità di elaborazione con quelle di contenimento dei costi. Difatti una memoria adatta per una elaborazione veloce deve consentire un accesso ad ogni informazione in essa contenuta entro un tempo decisamente breve; questo *tempo di accesso* nelle memorie di lavoro è inferiore a 1 microsecondo; tuttavia questa velocità non è gratuita, anzi impone alla memoria un costo per bit non trascurabile, a livello di qualche lira, e delle dimensioni esse pure non trascurabili, dell'ordine di 20 mm^3 di volume per ogni bit immagazzinato, quando si tenga conto dei circuiti di accesso e delle strutture. Si vede quindi che una tecnologia intrinsecamente veloce deve forzatamente limitarsi a capacità di memoria relativamente ridotte, che vanno da qualche centinaio di migliaia di *byte* (un byte consiste di 8 bit + 1 di controllo) per sistemi medio-piccoli a qualche milione per sistemi medio-grandi.

D'altra parte in generale non è necessario accedere in tempo breve a qualsiasi informazione memorizzata: pur di avere un costo per bit e un volume per bit almeno mille volte inferiori, è possibile permettersi un tempo di accesso anche centomila volte superiore, dell'ordine del decimo di secondo e più, purché non si tratti di un tempo da perdere ogni volta che si ha bisogno di un bit che non si trova nella memoria di lavoro, ma di un tempo di accesso ad un *blocco* di dati, che poi può venire trasferito nella memoria di lavoro (o principale) con elevata velocità (centinaia di migliaia di byte al secondo).

Nasce così il concetto di *gerarchia* delle memorie: una memoria *principale* con tecnologia veloce e relativamente costosa e ingombrante (generalmente costituita da nuclei magnetici o da circuiti super-integrati a semiconduttore), ed uno o più moduli di memoria *di massa*. La tecnologia di questa memoria di massa è caratterizzata dal fatto che l'accesso ad un blocco di informazioni avviene mediante uno o più spostamenti meccanici che portano il blocco richiesto in prossimità di un organo di lettura o scrittura. Questo procedimento evidentemente è lento, perché richiede un movimento fisico; d'altra parte è anche economico, perché lo stesso organo di lettura e scrittura può essere utilizzato per molti milioni di bit. Se si riportano in un grafico i valori tipici del tempo di accesso e del costo per bit delle memorie ora disponibili, si ottiene una figura come la fig. 1. È evidente che esiste una vera e propria soluzione di continuità fra le memorie ad accesso elettronico e quelle ad accesso meccanico. Questo articolo si prefigge lo scopo di descrivere i fondamenti fisici ed i limiti delle tecniche usate per la scrittura, la memorizzazione e la lettura dei dati nelle memorie ad accesso meccanico. Un'analoga trattazione relativa alle altre regioni della fig. 1 sarà oggetto di successivi articoli.

2. I principii della registrazione magnetica

È ben noto che esistono in natura materiali, detti genericamente ferromagnetici, le cui proprietà vengono alterate da campi magnetici abbastanza intensi, superiori ad un certo valore di soglia *(campo coercitivo)*, ma rimangono insensibili all'azione di campi inferiori. È questo un tipico esempio di memoria a permanenza lunghissima: le rocce magnetiche ci permettono di determinare oggi il valore del campo magnetico terrestre che esisteva al momento della loro

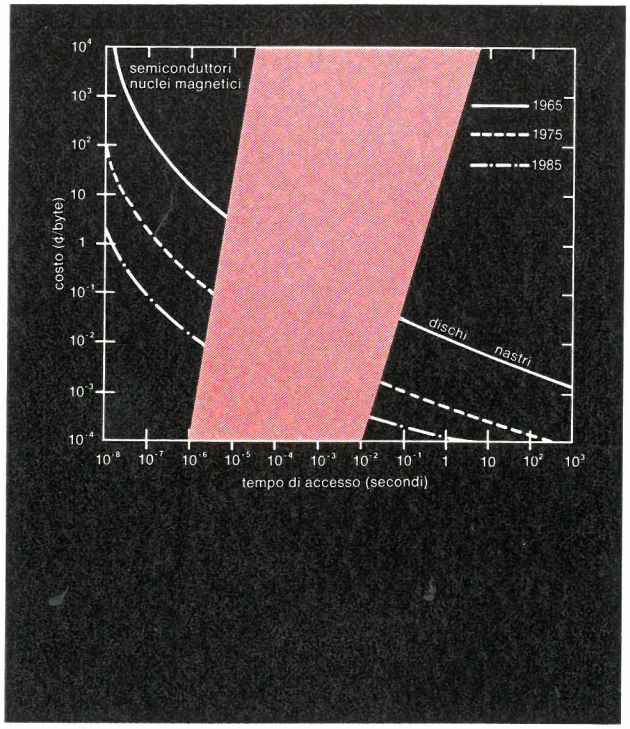


Fig. 1 - Panorama dei sistemi di memoria. Si noti il « vuoto » tra le memorie ad accesso elettronico e quelle ad accesso elettromeccanico.

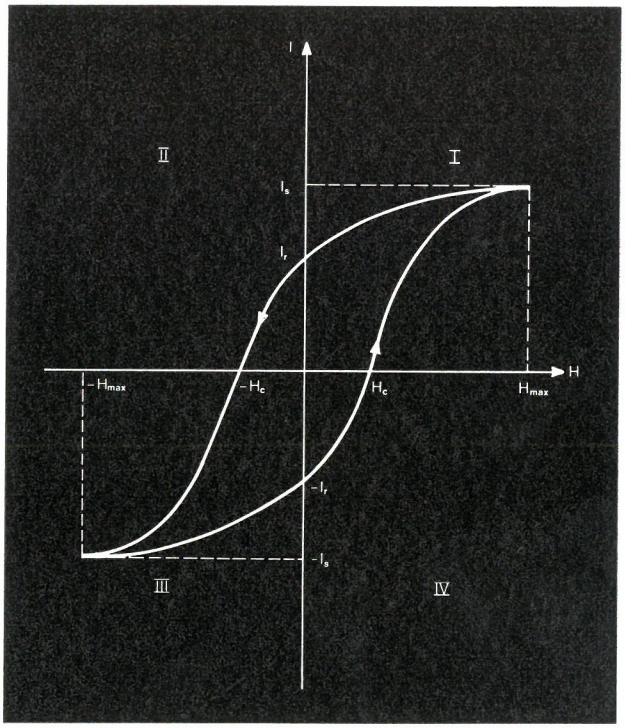


Fig. 2 - Ciclo di isteresi per un materiale ferromagnetico.

formazione, per raffreddamento del magma incandescente milioni di anni fa; i magneti permanenti funzionano per anni e anni senza perdite apprezzabili di magnetizzazione. È stato quindi spontaneo ricorrere a materiali magnetici per la registrazione di informazioni, le quali debbano potersi conservare per un tempo molto lungo.

Una descrizione sommaria delle proprietà magnetiche essenziali di un materiale adatto a funzionare come supporto di informazione è dato dal cosiddetto *ciclo di isteresi*, che ha la forma tipica di fig. 2. Il significato di questa figura è quello di fornire il valore della magnetizzazione del materiale (in ordinate) in funzione del valore del campo magnetico (in ascisse): come si vede, per ogni valore del campo ci sono due valori possibili della magnetizzazione, e quello effettivamente assunto dal materiale dipende dalla storia precedente: se si fa oscillare il campo (diretto parallelamente ad una direzione prefissata) dal valore $-H_{max}$ al valore $+H_{max}$ e viceversa, il ciclo viene percorso in senso antiorario, come indicato dalla freccia. Si osservi che non sempre la magnetizzazione è diretta come il campo applicato: ciò è vero solo per i tratti del ciclo che cadono nel I e nel III quadrante. Inoltre, se riportiamo il campo a 0, la magnetizzazione si stabilizza sul valore $+I_r$ se il campo è stato portato a 0 partendo da $+H_{max}$, e invece sul valore $-I_r$ se si è partiti da $-H_{max}$: questo costituisce l'effetto di memoria, perché il verso della magnetizzazione in condizioni di riposo, cioè senza campo esterno, *ricorda* il verso del campo applicato l'ultima volta prima dell'annullamento. Il valore assoluto I_r si chiama *magnetizzazione residua* ed è un parametro caratteristico del materiale. Il valore I_s, pure caratteristico del materiale, è detto *magnetizzazione di saturazione* ed è la magnetizzazione che si ha per campi molto elevati: difatti, a partire da un certo valore del campo, la magnetizzazione non cresce più, ma si stabilizza sul valore I_s. Il rapporto I_r/I_s misura in qualche modo la bontà dell'effetto di memoria: quanto più è vicino a 1, tanto meno il materiale si smagnetizza all'annullarsi del campo.

Un altro parametro significativo è H_c, il *campo coercitivo*, cioè quel valore del campo da applicare in un verso per portare a zero la magnetizzazione a partire da una situazione di magnetizzazione in verso opposto.

Consideriamo ora una porzione di materiale, avente per esempio il ciclo di isteresi di fig. 2, che venga a transitare in una zona in cui si possa creare a piacere un campo magnetico variabile fra $-H_{max}$ e $+H_{max}$. Possiamo, per esempio, immaginare questo materiale in forma di deposito su un supporto che serva per assicurarne il trascinamento. Se il supporto scorre nella zona di campo magnetico variabile con velocità v, per esempio da destra verso sinistra, e il campo viene fatto variare periodicamente con periodo 2T fra $-H_{max}$ e $+H_{max}$, come in fig. 3a, l'andamento della magnetizzazione del deposito considerato, osservato su un tratto che è già passato nella zona, è dato dalla fig. 3b, e varia fra $-I_r$ e $+I_r$ con periodo spaziale $2L = v.\,2T$. Questo andamento è indipendente dalle condizioni di magnetizzazione precedenti il passaggio attraverso la zona di campo magnetico.

La realizzazione pratica di una zona in cui il campo

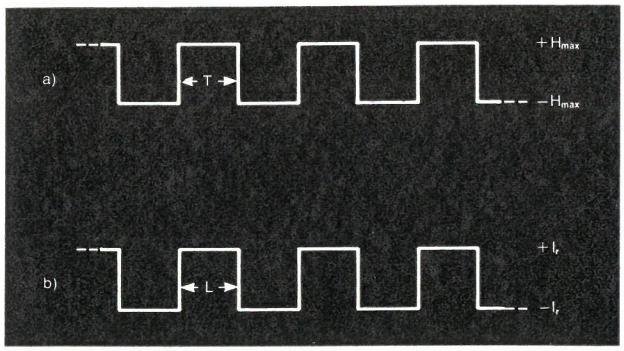


Fig. 3 - Registrazione di un'onda quadra: a) andamento temporale *del campo magnetico; b) andamento* spaziale *della magnetizzazione* ($L = vT$).

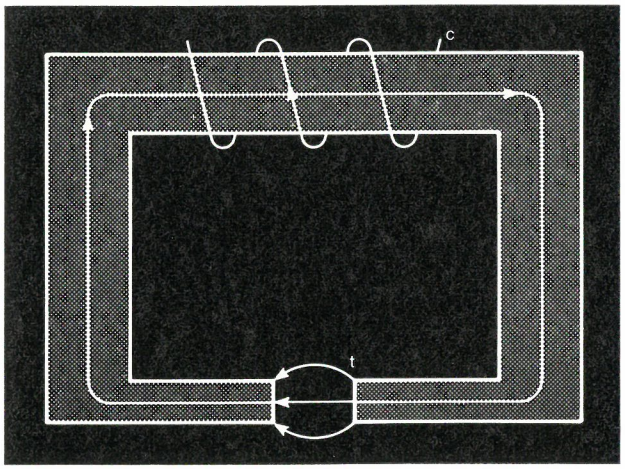


Fig. 4 - Testina di registrazione.

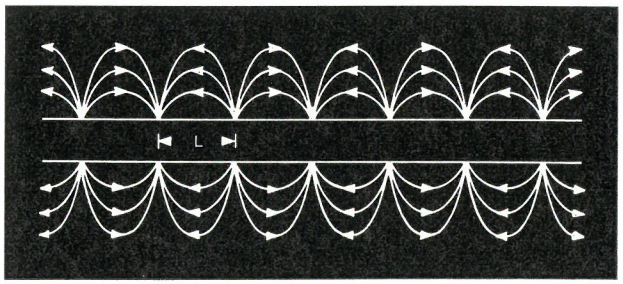


Fig. 5 - Campo magnetico generato da una registrazione del tipo di Fig. 3b).

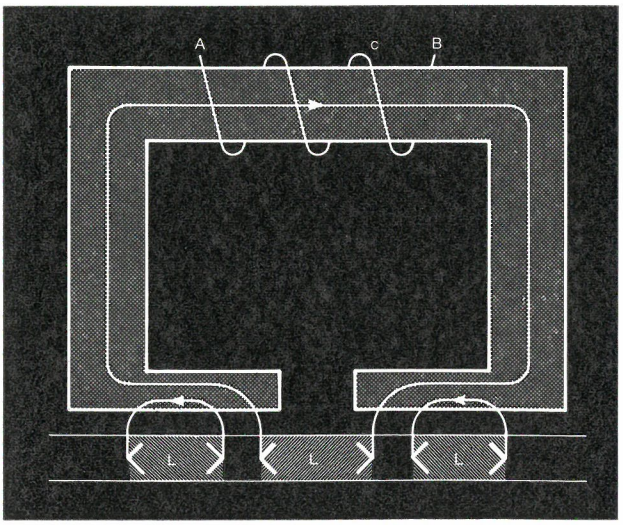


Fig. 6 - Campo magnetico nella testina di lettura.

magnetico possa essere fatto variare a piacere non è eccessivamente complicata. Si usa una struttura *(testina)* che è praticamente un piccolo elettromagnete (v. fig. 4): quando si fa circolare corrente nel conduttore a spire, si genera un campo magnetico nel traferro t, di intensità proporzionale all'intensità della corrente e di verso dipendente dal verso di percorrenza della corrente. Se si fa scorrere il deposito magnetico sotto la testina, esso attraversa la zona di campo intenso, il cui verso viene variato semplicemente invertendo il senso di circolazione della corrente.

A questo punto per mettere in piedi una memoria occorre costruire una stazione di lettura, in cui si possa identificare il verso della magnetizzazione sul deposito magnetico. Per fare questo è più semplice controllare il campo magnetico generato all'esterno del deposito, che ha un andamento del tipo indicato in fig. 5. Se si fa passare il supporto sotto una testina simile a quella di fig. 4, mettendoci ad esempio in modo che la testina sia al centro della zona contrassegnata con la L, il campo viene perturbato nella maniera indicata nella fig. 6. Se il supporto scorre sotto la testina, ad ogni inversione della magnetizzazione corrisponde una inversione del campo magnetico entro il nucleo del magnete. Tuttavia, per un principio generale della fisica, quando si tende ad alterare una situazione, si generano fenomeni che cercano di ripristinare la situazione precedente; nel nostro caso ciò significa che nel filo c, ad ogni passaggio attraverso una zona di transizione fra due magnetizzazioni in senso contrario, si genera una forza elettromotrice che tenderebbe a far circolare una corrente la quale si opporrebbe alla variazione del campo nel nucleo. Quindi, se la registrazione di fig. 3b passa sotto una testina, in cui il filo c è lasciato aperto, ad esempio da destra verso sinistra, con velocità v, fra i punti A e B si genera una differenza di potenziale che nel tempo ha un andamento periodico con periodo 2T e l'andamento di fig. 7. In questo modo è possibile riconoscere il contenuto della registrazione attraverso una successione di impulsi di tensione, in corrispondenza delle inversioni di magnetizzazione presenti nel mezzo.

Abbiamo quindi visto come sia possibile realizzare le funzioni fondamentali di un sottosistema di memoria, cioè la registrazione, la memorizzazione ed il riconoscimento, sfruttando le proprietà dei materiali magnetici e le leggi fondamentali dell'elettromagnetismo.

3. I materiali memorizzanti

Da quanto detto sopra, possiamo dedurre quali sono le proprietà desiderabili per un materiale ideale per memorie di massa. Innanzitutto, il segnale che si rivela durante la lettura è direttamente proporzionale alla magnetizzazione residua, e quindi è necessario che il materiale abbia una magnetizzazione residua elevata; il che significa che è necessaria una magnetizzazione di saturazione elevata ed un rapporto I_r/I_s abbastanza vicino ad 1. Inoltre è necessario che il

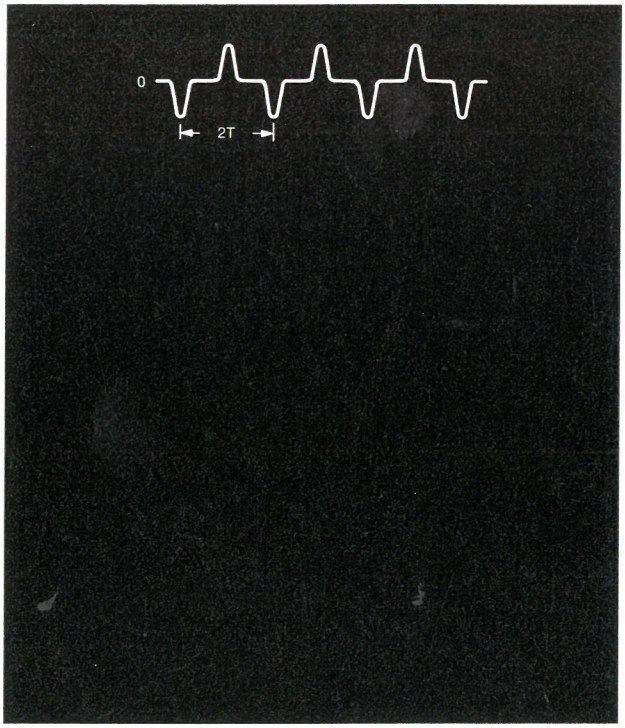


Fig. 7 - Differenza di potenziale in una testina di lettura.

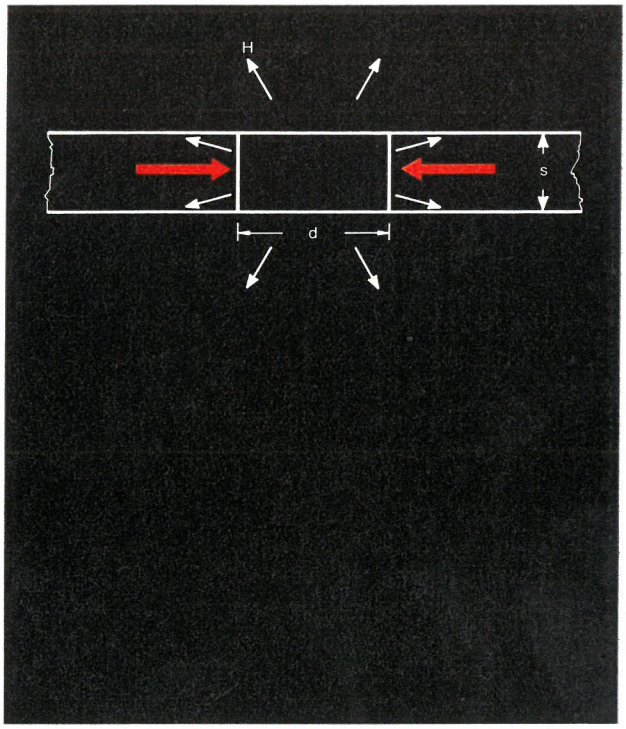


Fig. 8 - Andamento del campo magnetico in vicinanza di una zona di transizione.

campo coercitivo sia abbastanza alto, nettamente superiore ai campi di disturbo che possono prodursi. Tuttavia non è possibile scegliere semplicemente materiali con i massimi I_r e H_c. A proposito di H_c, è facile capire la ragione della limitazione: durante la scrittura occorre generare campi superiori a H_c in tutto lo spessore del mezzo memorizzante; questo spessore non può essere troppo piccolo, perché in prima approssimazione il segnale rivelato in lettura è proporzionale anche allo spessore del mezzo; quindi si hanno delle limitazioni su H_c dovute alla possibilità di generare praticamente un campo superiore. La ragione per cui anche I_r non può crescere senza limiti è un po' più complessa, ed è legata alla densità di informazioni che si desidera inserire nel mezzo. Difatti, guardiamo una zona di transizione fra due versi opposti di magnetizzazione (fig. 8): in prima approssimazione possiamo vederla come una zona neutra fra due poli dello stesso segno; ai due lati della zona neutra abbiamo due zone magnetizzate in un campo magnetico opposto alla magnetizzazione; ma ciò è possibile solo se il campo magnetico è inferiore a quello coercitivo. Poiché il campo magnetico è proporzionale a I_r e decresce al crescere di d, si vede che un valore eccessivo di I_r porta ad un aumento della lunghezza d della zona di transizione, e ciò può portare come conseguenza ad una densità bassa di informazioni, in quanto la zona effettivamente magnetizzata deve avere una lunghezza superiore a d. Quindi occorre mantenere I_r entro certi limiti, dipendenti dal valore di H_c.

A questo proposito va anche detto che il parametro determinato unicamente dalla composizione chimica e dalla struttura cristallina del materiale è I_s, la magnetizzazione di saturazione; questa in realtà dipende anche dalla temperatura, nel senso che normalmente diminuisce se la temperatura cresce, ma prescindiamo da questa dipendenza perché di solito si lavora a temperatura ambiente. Il campo coercitivo H_c dipende dalla struttura granulare del materiale: se questo si compone di monocristalli relativamente grandi (dimensione massima pari a parecchi micron) e di forma grosso modo sferica, H_c è piuttosto piccolo e il materiale è magneticamente « dolce »; se si hanno tanti cristallini piccoli e di forma nettamente allungata, orientati a caso, H_c cresce decisamente e il rapporto I_r/I_s assume un valore vicino a 0,5; se i cristallini vengono tutti orientati con l'asse maggiore parallelo alla direzione del campo, H_c cresce ancora, e I_r/I_s prende il valore 1. Normalmente si cerca di lavorare con cristallini piccoli (sotto il micron) e fortemente oblunghi (rapporto fra asse maggiore e asse minore superiore a 5) e di orientarli entro una certa misura; in questo modo è possibile ottenere un certo controllo su H_c e I_r/I_s.

Un materiale che soddisfa a tutti i requisiti in maniera largamente soddisfacente è la cosiddetta ferrite γ, la quale ha la composizione stechiometrica Fe_2O_3, ma una struttura cristallina analoga a quella della magnetite Fe_3O_4 (in cui gli ioni ferro sono in parte bivalenti e in parte trivalenti) con l'assenza di uno ione ferro ogni nove. Questa struttura cristallina è essenziale per le proprietà magnetiche: difatti la ferrite α, con la stessa stechiometria ma con ioni ferro soltanto trivalenti, è antiferromagnetica. La magnetizzazione di saturazione è piuttosto elevata; senza addentrarci nei diversi sistemi di unità di misura nel magnetismo, che sono alquanto complicati, diciamo

che nel sistema internazionale essa vale 0,5 T (tesla); per dare un'idea del significato di questo valore, diciamo che la magnetizzazione di saturazione del ferro vale 2,15 T. Il materiale viene utilizzato sotto forma di polveri in granelli oblunghi e di forma irregolare, con asse maggiore da 0,2 a 0,7 μm; questi granelli di solito si associano in aggregati di qualche decina di elementi disposti casualmente.

Il materiale di supporto viene ricoperto da una sospensione contenente questi granelli, e se ne favorisce l'orientazione applicando un campo magnetico intenso, dell'ordine di 10^5 A/m (ampère/metro) durante l'evaporazione del liquido; sempre per avere un'idea degli ordini di grandezza, ricordiamo che il campo magnetico terrestre è inferiore a 100 A/m. In questo modo si riesce ad ottenere un rapporto I_r/I_s di circa 0,75, mentre il campo coercitivo si aggira sui 30.000 A/m; il valore di I_r/I_s è limitato proprio dal fatto che i granuli formano degli aggregati.

Benché la ferrite γ sia abbastanza soddisfacente, tuttavia si sono fatte ricerche per sostituirla con altri materiali. Uno è la magnetite Fe_3O_4, che ha un I_s e un campo coercitivo superiori di un buon 20%; tuttavia tende ad ossidarsi a lungo andare diventando ferrite α, mentre la ferrite γ tende a subire la stessa trasformazione solo a temperatura elevata (oltre 350°C). Un altro materiale, impiegato per ottenere una densità elevata di informazioni, è sempre a base di ferrite γ, in cui però una piccola percentuale (2-3%) degli ioni ferro è sostituita da ioni cobalto: in questo modo si può aumentare il campo coercitivo di un fattore 2, sia pure a spese di una simile riduzione nella magnetizzazione residua. Questo forte aumento, che consente di quadruplicare la densità lineare di informazioni, si ottiene perché alle irregolarità di forma dei grani si somma una struttura cristallina con direzioni preferenziali ben marcate; un inconveniente però è che il campo coercitivo dipende sensibilmente dalla temperatura. È possibile impiegare anche biossido di cromo CrO_2, che permette un buon rapporto I_r/I_s (fino a 0,9) e un campo coercitivo superiore di un buon 50% a quello della ferrite γ; l'unico inconveniente è che per riscaldamenti poco superiori a 100°C le proprietà magnetiche si perdono e l'informazione memorizzata svanisce completamente; c'è anche il rischio di una ossidazione a triossido, CrO_3, che non è magnetico.

Campi coercitivi molto elevati possono venire ottenuti se lo strato di memoria è composto da granuli metallici (per esempio di ferro, o cobalto, o una loro lega) o è un deposito metallico uniforme conseguente ad elettrolisi, catalisi od evaporazione sotto vuoto.

Va detto che finora abbiamo preso in esame solo le proprietà magnetiche; nel caso in cui si abbia un contatto fisico tra le testine e il mezzo memorizzante è anche necessario che il mezzo sia abbastanza resistente all'usura per strofinio e che d'altra parte non produca esso stesso usura sulla testina. Inoltre osserviamo che dal punto di vista del costo di puro materiale, i composti a base di ferro si presentano molto economici, e sicuramente vantaggiosi rispetto ad ogni composto o lega a base di cobalto o nichel; la ferrite γ, ad esempio, costa attorno alle 1.000 lire al chilo, ed incide per non più di qualche percento nel costo totale del mezzo di memoria.

4. I materiali per le testine

Abbiamo visto che la funzione delle testine è duplice: di registrazione e di lettura.

Per eseguire correttamente la funzione di registrazione occorre che la testina sia in grado di produrre un campo superiore al campo coercitivo in tutto lo spessore del mezzo di memoria, che normalmente supera il centesimo di millimetro; questo si può ottenere se il materiale della testina presenta una magnetizzazione di saturazione abbastanza alta, almeno di 0,2-0,3 T. A differenza però del caso dei materiali di memoria, il campo coercitivo deve essere molto basso: difatti, per registrare ad una frequenza elevata, occorre invertire la magnetizzazione della testina in tempo molto breve, e ciò è più agevole se la corrente di pilotaggio è contenuta (diciamo sotto il mezzo ampère); valori ragionevoli per H_c sono sotto i 10 A/m.

Per eseguire correttamente la funzione di lettura occorre invece che sia elevato un altro parametro magnetico, che non interveniva, o addirittura perdeva significato, nei materiali per memoria; esso prende il nome di *permeabilità iniziale*. Per comprenderne il significato osserviamo in fig. 9 come la curva di fig. 2 si trasforma nel caso di un materiale a campo coercitivo bassissimo, al limite nullo. Si vede che dei parametri definiti in fig. 2 soltanto I_s conserva un significato, mentre acquista interesse conoscere l'angolo α, il quale è tanto più vicino a 90° quanto più il materiale è sensibile al campo applicato. Di solito, invece di considerare quest'angolo, si definisce come suscettività magnetica la sua tangente trigonometrica, cioè il rapporto fra I e H che si ha nel materiale quando la curva a tratto pieno di fig. 8 si confonde con la retta punteggiata. Purtroppo il suo valore numerico dipende dalle unità di misure scelte, che, come tutte le unità magnetiche, variano in modo complicato a seconda del sistema di unità di misura scelto; se continuiamo ad usare il sistema internazionale, la suscettività si misura in H/m (henry/metro), ma di solito si preferisce dividerla per una quantità fissa, chiamata, per ragioni che è troppo lungo spiegare, permeabilità magnetica del vuoto, per ottenere come risultato un numero puro; questo numero, aumentato di 1, si chiama appunto permeabilità magnetica iniziale. È chiaro che una testina di lettura funziona tanto meglio quanto più la permeabilità iniziale è alta.

Va detto ancora che, sfortunatamente, la permeabilità iniziale è funzione della frequenza, vale a dire che, se il campo magnetico varia bruscamente, la magnetizzazione può non riuscire a tenergli dietro; quindi non è sufficiente che la permeabilità misurata staticamente sia elevata, ma serve anche che non si deteriori troppo alla frequenza di funzionamento effettiva.

Il materiale più usato per le testine è una lega di nichel e ferro, in proporzione di circa 4 a 1, nota col nome commerciale di permalloy. La sua I_s è piuttosto buona (più di 1 T), il suo campo coercitivo è bassissimo (circa 4 A/m), la permeabilità iniziale può raggiungere valori più che discreti (circa 10.000). Si riesce ad ottenere una permeabilità così alta con trattamenti termici appropriati (brusco raffreddamento, da circa 1000°C in 1 minuto), che consentono una uniformità del materiale ed una struttura cristallina ben ordinata su distanze piccole. L'inconveniente principale è che il permalloy è metallico, e quando è sottoposto ad un campo magnetico rapidamente crescente è percorso da correnti che creano un campo opposto a quello applicato, con conseguente riduzione della permeabilità ad alta frequenza. Per diminuire questo effetto, si può formare una testina con tanti lamierini isolati fra di loro, e il comportamento ad alta frequenza ne risulta tanto migliore quanto più sottili sono i lamierini: per spessori di circa un centesimo di millimetro, si ha un dimezzamento della permeabilità alla frequenza di circa 1 MHz. Inoltre, anche a bassa frequenza, la permeabilità migliora, fino a oltre 50.000, con l'aggiunta di una piccola percentuale (4-5%) di molibdeno.
Un comportamento nettamente migliore a frequenze elevate si ha sostituendo il materiale metallico con un isolante. Gli isolanti presi in esame rientrano nella classe delle ferriti, in cui oltre al ferro (trivalente) sono presenti altri metalli, ad esempio nichel e zinco oppure manganese e zinco. Per quanto le ferriti siano usate in alcuni tipi di testine oggi in commercio, hanno lo svantaggio, se la miscela di ossidi viene sinterizzata, di essere porose e friabili, e se invece viene fatta ricristallizzare, di essere disomogenee, con proprietà variabili da punto a punto.

5. Limiti di densità

Nella definizione dei requisiti a cui un buon mezzo di memoria deve soddisfare, è stata indicata l'influenza del campo coercitivo sulla massima densità di informazioni raggiungibile. In effetti, ampliando leggermente il discorso fatto in quella occasione, e riferendoci alla fig. 8, possiamo dire che il mezzo memorizzante influenza la densità di informazioni massima raggiungibile attraverso 3 parametri di cui due magnetici, cioè il campo coercitivo H_c e la magnetizzazione residua I_r, e uno geometrico, lo spessore s. In prima approssimazione si può dire che la larghezza d della zona di transizione minima che si può ottenere è direttamente proporzionale tanto a s quanto a I_r, ed è inversamente proporzionale a H_c. Poiché anche il segnale che si ottiene in lettura è proporzionale a I_r e, in prima approssimazione, a s, mentre la corrente di scrittura è direttamente proporzionale a H_c, abbiamo già osservato che bisogna scegliere un ragionevole compromesso fra le necessità imposte da un buon rapporto fra segnale e disturbo in lettura e una buona efficienza di scrittura, da una parte, e un impaccamento elevato di informazioni, dall'altra.

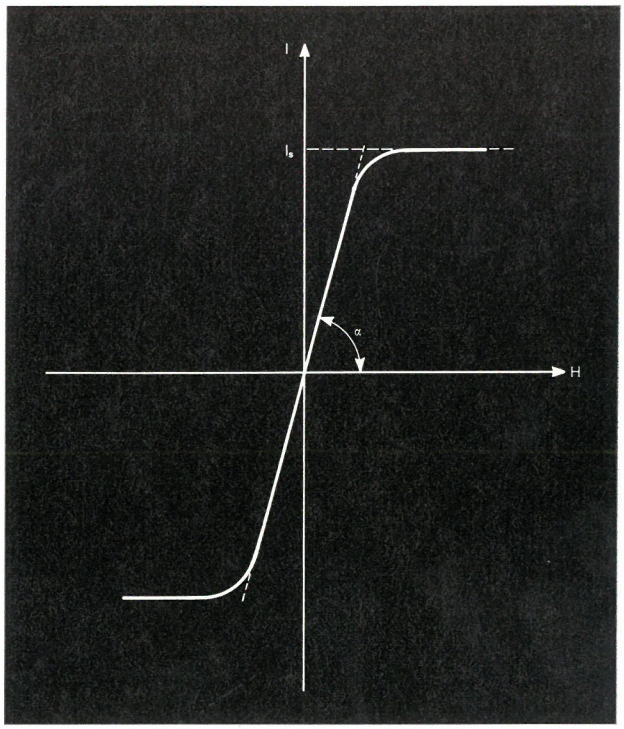


Fig. 9 - Relazione tra I e H in un materiale ferromagnetico dolce ($H_c = 0$).

Tuttavia la densità di informazioni non è limitata solo dalle caratteristiche del mezzo; interviene in maniera determinante anche la geometria della testina. In effetti la testina interviene non tanto nella fase di scrittura, poiché la magnetizzazione residua è determinata dall'ultimo momento in cui il campo esterno ha superato, in un verso o nell'altro, il valore assoluto H_c, quanto nella fase di lettura, poiché il campo che viene « catturato » dalla testina è quello prodotto da tutte le transizioni sotto la testina stessa o anche al di fuori per una distanza inferiore a quella testina-mezzo. Per questa ragione occorre che la zona a permeabilità elevata non copra più di una transizione per volta. In laboratorio si è riusciti a costruire testine in grado di leggere una successione di regioni magnetizzate come in fig. 3b) con L pari a 1 micron (1 millesimo di millimetro). Spesso la densità di informazioni detta longitudinale, cioè lungo la direzione del moto del supporto, viene indicata in « frpi », cioè « flux reversal per inch » ovvero inversioni di flusso (magnetico, cioè di magnetizzazione) per pollice; ad esempio, quando si parla di un mezzo di memoria a 3200 frpi, questo significa che è possibile registrare e riconoscere una successione di inversioni di magnetizzazione come in fig. 3b), con un L pari a 1/3.200 di pollice, cioè circa 8 micron.
Fin qui abbiamo visto la densità longitudinale, ma è interessante anche conoscere la densità trasversale, ovvero la distanza fra due piste adiacenti sullo stesso supporto. Ovviamente questa distanza è limitata dall'intensità del segnale di lettura, che è proporzionale alla larghezza della zona registrata; però di solito le limitazioni che effettivamente intervengono sono legate ai problemi di trascinamento meccanico: occorre

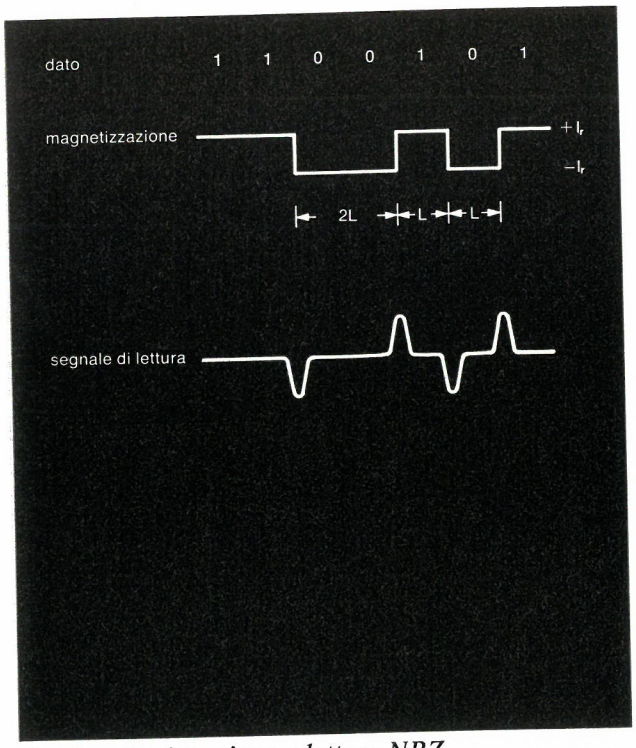


Fig. 10 - Registrazione e lettura NRZ.

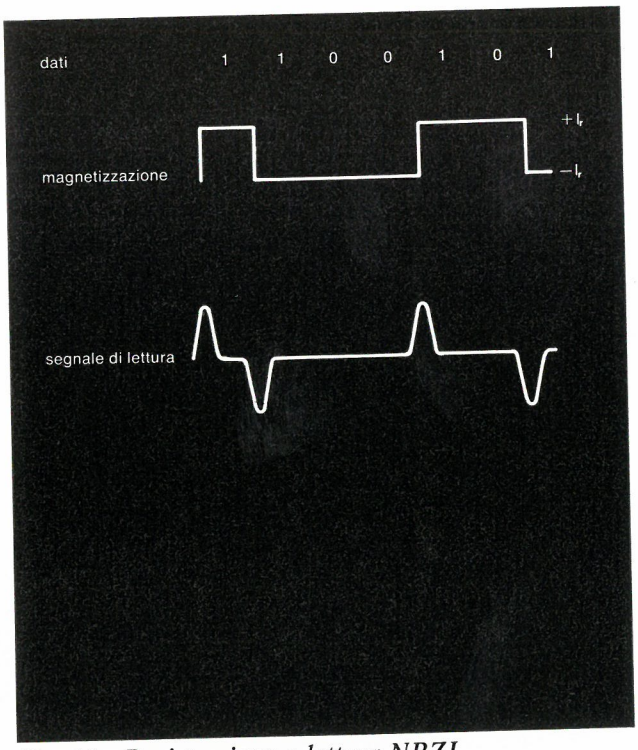


Fig. 11 - Registrazione e lettura NRZI.

cioè essere sicuri che la zona registrata passi sempre sotto la testina tenendo conto di tutte le tolleranze meccaniche nel trascinamento del mezzo; complessivamente questo impedisce che la distanza fra tracce adiacenti (da centro a centro) sia inferiore a varii centesimi di millimetro. L'unità di misura che si usa in questo caso è « tpi », cioè « track per inch », vale a dire tracce (o piste) per pollice, e si può arrivare a qualche centinaio di tpi.

6. I codici di registrazione

Ovviamente una registrazione del tipo di quella di fig. 3b) può contenere delle informazioni solo se si varia la lunghezza L delle diverse regioni, in funzione del contenuto dell'informazione stessa, fermo restando che non si può scendere al di sotto di un certo limite fissato dal materiale e dalla geometria, e che in ogni caso è specificato dalle norme di impiego del sottosistema di memoria. Occorre quindi definire un codice che associ una successione di bit a una successione di regioni magnetizzate in modo alterno. Il codice più semplice che si possa usare è quello che fa corrispondere ad uno « 0 » un verso prefissato della magnetizzazione e ad un « 1 » il verso opposto; questo codice si indica normalmente con la sigla NRZ, che significa « Non Return to Zero » cioè non ritorno a zero. Questa indicazione si riferisce ad un codice precedente, in cui fra una zona ed un'altra si lasciava un tratto del mezzo completamente smagnetizzato (RZ = « Return to Zero ») o magnetizzato in verso fisso (RB = «Return to Bias»). Col codice NRZ la registrazione e la lettura si presentano come in fig. 10. È evidente che con questo codice si può riservare ad ogni bit la lunghezza minima L; tuttavia si presenta il seguente problema: quando occorre riconoscere una successione molto lunga di bit uguali, tutti « 0 » o tutti « 1 », occorre che la velocità del supporto sia perfettamente costante, in maniera che il tempo che trascorre fra due impulsi successivi di lettura sia esattamente correlabile alla distanza fra le due transizioni. Poiché ciò è difficilmente ipotizzabile, si può usare il codice NRZ soltanto quando esistono più testine che leggono (e scrivono) contemporaneamente in parallelo, e vi è una pista « di servizio », sulla quale si registra qualcosa che serve solo per dare il sincronismo giusto, ad esempio la successione « 0 1 0 1 0 . . . . . ».

Un altro codice che si può usare è il cosiddetto « NRZI », cioè « Non Return to Zero for 1's » (« non ritorno a zero per gli uni ») ; in questo caso la scrittura di uno « 0 » si effettua mantenendo la corrente nel verso in cui già si trova, quella di un « 1 » invertendola, come si vede in fig. 11. È facile verificare che si ha lo stesso problema del caso NRZ quando si presenta una lunga serie di « 0 »; c'è però questo vantaggio: se si usa una fila di testine, invece di usarne una per la sola sincronizzazione con la successione di tutti « 1 », si può utilizzarla per un controllo di parità, imponendo che questa debba essere dispari: in questo modo si è sicuri che in ogni fila contemporanea di bit c'è almeno un « 1 ».

Con questi codici è sempre necessaria una traccia di servizio per la sincronizzazione. Esistono altri codici che consentono una autosincronizzazione e che vengono distinti genericamente con la sigla « PE », che sta per « Phase Encoding » ovvero codifica di fase. Caratteristica generale di questi codici è che, se L è la distanza minima consentita fra due inversioni di magnetizzazione, ogni bit occupa una lunghezza 2L.

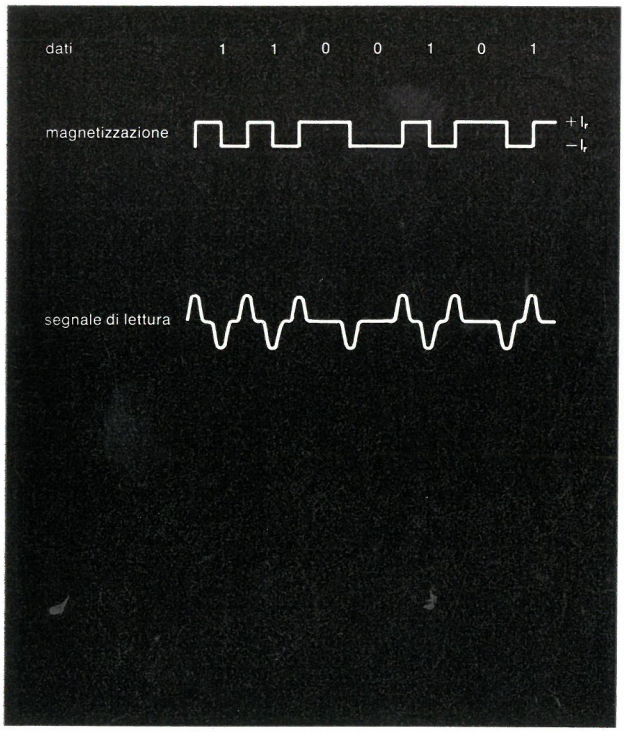


Fig. 12 - Registrazione e lettura col codice PE bifase (o a due periodi).

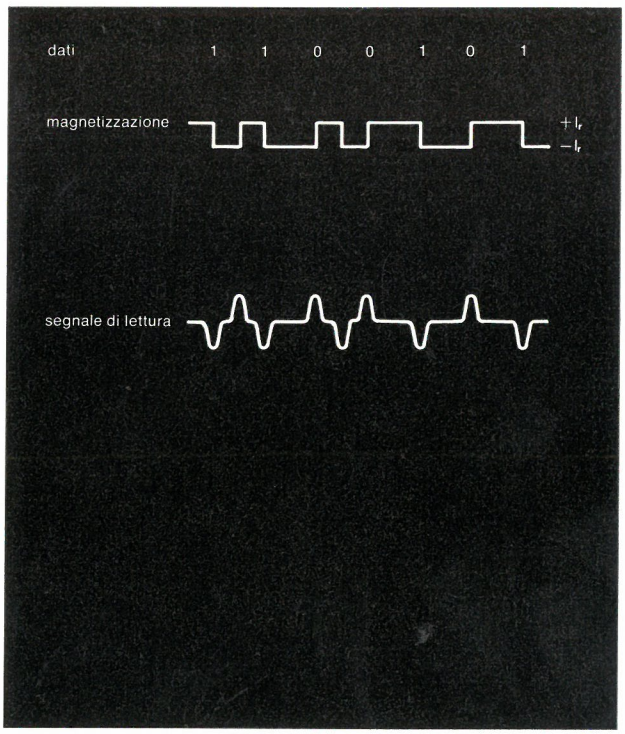


Fig. 13 - Registrazione e lettura col codice PE Manchester.

Ad esempio il sistema bifase (o meglio a due periodi), illustrato in fig. 12, ha un'inversione di magnetizzazione all'inizio di ogni bit, e un'altra in mezzo se questo bit è « 1 »: in questo modo un bit « 0 » corrisponde a una distanza 2L fra due inversioni successive, e un bit « 1 » a due tratti consecutivi di lunghezza L. Invece il sistema « Manchester », illustrato in fig. 13, ha un'inversione in tutti i centri delle zone riservate ai diversi bit: questa inversione è sempre da $-I_r$ a $+I_r$ se il bit è « 0 » e sempre da $+I_r$ a $-I_r$ se il bit è « 1 »; c'è un'inversione anche all'inizio della zona se ciò è necessario perché l'altra abbia il verso giusto. Come si vede, in ogni codice PE c'è almeno una inversione per bit, e questo consente una autosincronizzazione continua.

7. L'unità nastro magnetico

Un modo di realizzare un sottosistema di memoria che sfrutti i principii descritti è di utilizzare come supporto un nastro di materiale plastico, su cui viene depositato il materiale di memoria. Il vantaggio principale di questo supporto è che può venire arrotolato su bobine per una lunghezza fino a qualche centinaio di metri; in questo modo si può organizzare un archivio fuori linea, in cui ogni bobina di nastro contiene qualche decina di milioni di caratteri.

La bobina viene utilizzata montandola su una unità nastro, che regola il movimento del nastro in maniera che passi a contatto di una testina. Da qui è evidente quello che è lo svantaggio fondamentale di questo sistema: se il nastro scorre ad esempio con velocità di 4 m/s (di solito la velocità si misura in « ips », cioè « inch per second », pollici al secondo, e le velocità tipiche sono 18,75 o 37,5 o 75 ips, e 150 ips per il solo avanzamento o riavvolgimento senza lettura o scrittura; quest'ultima velocità corrisponde a circa 4 m/s) occorre qualche minuto per avvolgerlo tutto, e quindi il tempo di accesso all'informazione desiderata è molto lungo. Tuttavia, una volta che sia stato raggiunto il blocco di informazioni cercato, il flusso di dati è piuttosto veloce: ad esempio un nastro con 3.200 frpi che viaggi ad una velocità di 75 ips trasmette 120.000 caratteri al secondo, se è registrato con un codice di tipo PE. Abbiamo scritto carattere e non bit, perché di regola la testina è organizzata con varie piste in parallelo, ad esempio 9, e quindi la trasmissione avviene con questo parallelismo.

Questa organizzazione consentirebbe l'uso di codici non PE; tuttavia, se la densità è elevata, una autosincronizzazione su ogni pista elimina i problemi legati con i difetti di ortogonalità fra la fila di testine ed il nastro.

Spesso nello stesso elemento fisico sono comprese tre testine, che il nastro incontra nell'ordine: una per la cancellazione, una per la scrittura, una per la lettura. Quando si vuole registrare un blocco di dati, si può così in successione rapidissima prima cancellare i dati precedenti (cioè portare il nastro in una situazione essenzialmente magnetizzata in modo da non risentire della situazione precedente), poi registrare i dati nuovi, poi rileggerli per verificarne l'esattezza. Naturalmente se si vuole eseguire solo un'operazione di lettura, non si invia corrente alle testine di cancellatura e registrazione. In fig. 14 si vede una testina magnetica e in fig. 15 una unità nastro.

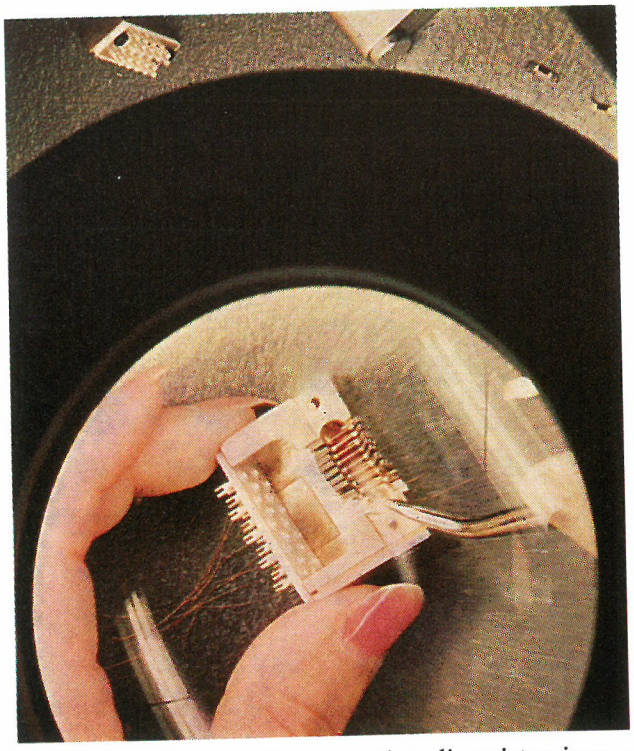


Fig. 14 - Montaggio di una testina di registrazione a nove tracce per nastri magnetici. (Stabilimento di Caluso della Honeywell Information Systems Italia).

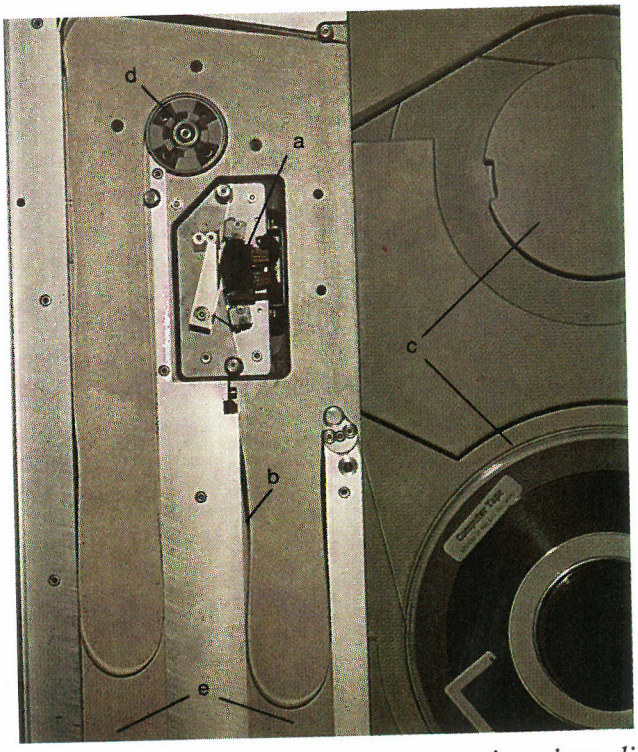


Fig. 15 - Organi di trascinamento e registrazione di una moderna unità a nastro magnetico (progetto e fabbricazione Honeywell Information Systems Italia). a) Testina magnetica, b) Nastro magnetico (lato di registrazione), c) Bobine, d) Rullo di trascinamento del nastro, e) Polmoni pneumatici (per controllare la tensione del nastro).

8. L'unità disco magnetico

Il tempo di accesso elevato è l'inconveniente principale delle unità nastro. Per questa ragione si va affermando un modo diverso di disporre i dati, utilizzando come supporto un disco, ricoperto al solito di materiale magnetico. È chiaro che il disco può ruotare costantemente, con un periodo di circa un centesimo di secondo; su un disco si possono mettere molte tracce, ad esempio da cento in su per ogni faccia. In linea di principio è possibile avere una testina per traccia, e quindi un tempo di accesso molto ridotto, e si parla allora di disco a testina fissa; tuttavia, per ridurre il costo, si usano più spesso unità con una testina per faccia, libera di muoversi lungo un raggio del disco. In questo caso il tempo di accesso è la somma del tempo di rotazione del disco e del tempo di posizionamento del braccio che porta la testina, ed è dell'ordine del decimo o ventesimo di secondo. Naturalmente, poiché il disco è rigido, non si può avere contatto fra mezzo e testina, come nel caso del nastro, ma bisogna assicurare che la distanza fra la testina e la superficie magnetica rimanga costante. Questa costanza è assicurata dallo strato d'aria tenuto in movimento dalla veloce rotazione continua del disco, che tende ad allontanare la testina dal disco stesso, e da una piccola molla, che tende ad avvicinarla; il risultato è un controllo della distanza ad un valore di qualche millesimo di millimetro. Estendendo la tecnica delle unità a disco, si passa ad unità che attorno allo stesso perno fanno ruotare parecchi dischi (fino a 10) e controllano il moto solidale di un numero doppio di testine (una per faccia); in questo modo il costo della meccanica e dell'elettronica di controllo viene ripartito su alcune centinaia di milioni di caratteri.

Attualmente, per il breve tempo di accesso e per l'elevato flusso di dati (fino a 600.000 caratteri al secondo), l'unità disco è la più efficiente memoria periferica. Questa sua superiorità aveva portato a pronosticare una rapida fine del nastro come mezzo memorizzante; questo in realtà non è avvenuto, perché il costo per bit *fuori linea*, cioè in un archivio a cui non si accede in modo automatico dal sistema di elaborazione, è molto inferiore in un nastro che in un disco o pacco di dischi.

9. Conclusione

La registrazione magnetica è una tecnologia ormai bene affermata per la registrazione di massa: se si prende come misura della sua efficienza la densità di bit registrati per unità di superficie e se ne esamina l'andamento in funzione del tempo negli anni trascorsi (v. fig. 16), ci si accorge che questo parametro di merito è andato costantemente migliorando e non accenna a saturarsi. Questa è la ragione principale per cui non si può ritenere che esistano oggi delle tecnologie alternative alla registrazione magnetica per il futuro prossimo, per quanto ne siano state proposte alcune, basate sull'uso di fasci luminosi (laser) o di fasci elettronici. Tecnologie diverse si possono invece affermare per una classe di memorie intermedie fra quella centrale e quelle descritte in

questa rassegna: sono quelle che potrebbero andare a coprire la fascia di costi e di prestazioni per ora libera, come si vede in fig. 1; si tratta di tecnologie che non richiedono un accesso meccanico all'informazione, e quindi possono raggiungere tempi di accesso sostanzialmente più brevi dei dischi a testina fissa, ma sono compatibili con letture sequenziali di blocchi, e quindi con un basso costo della logica di indirizzamento. Queste tecnologie, che ora sono argomento di congressi specializzati e di un'ampia letteratura, saranno oggetto di un articolo successivo. Un confronto riassuntivo fra le prestazioni attuali dei sottosistemi di memoria periferica è esposto nella tabella I.

10. Bibliografia essenziale

Per i fenomeni magnetici in generale si rimanda a un qualunque testo universitario di fisica, o ad opere sulla fisica dello stato solido: ne esistono anche in versione italiana, come ad esempio C. Kittel, *Fisica dello stato solido* - Boringhieri 1971. Un libro molto dettagliato su tutti gli aspetti del magnetismo, in inglese, è A.H. Morrish, *The Physical Principles of Magnetism* - Wiley 1965.

La teoria della registrazione magnetica e della lettura è trattata in maniera approfondita ma con scopi didattici da R.C. McCary, *IEEE Trans. MAG-7,* 4 (1971).

I problemi che restano tuttora aperti sono discussi da J.C. Mallinson, *AIP Conference Proc. 5,* 743 (1971).

Una trattazione sui materiali usati come mezzo memorizzante e per le testine è data da G. Bate, *AIP Conference Proc. 5,* 766 (1971), con numerose citazioni di lavori specifici sui diversi materiali.

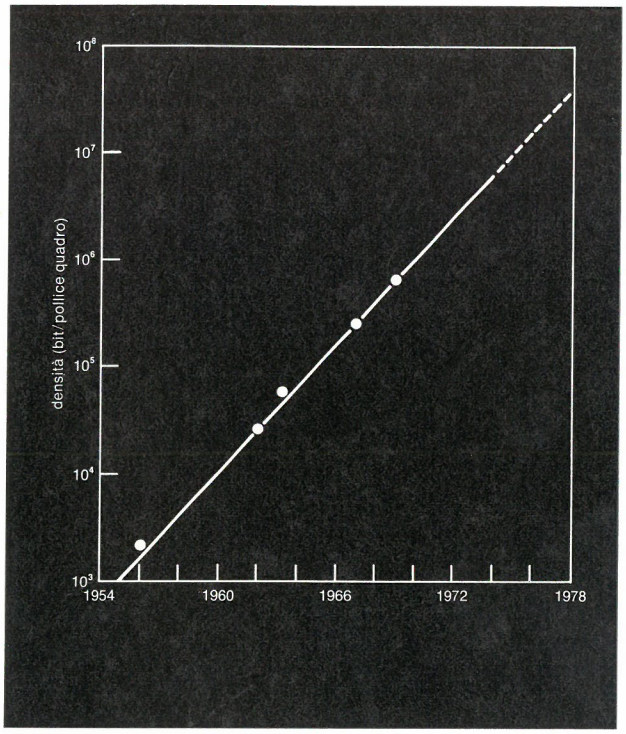


Fig. 16 - La densità superficiale di informazioni nelle memorie elettromeccaniche di massa. I punti corrispondono ai prodotti più significativi annunciati nel corso del tempo.

Per una descrizione generale delle memorie periferiche si rimanda al volume di I. Flores, *Peripheral Devices,* Prentice-Hall (1973, mentre le prospettive future delle memorie magnetiche di massa sono indicate in Hoagland, *Fall Joint Computer Conf. Proc., 41,* 985 (1972).

Tabella 1 - Stato dell'arte delle memorie di massa

	Nastro	Disco	
		a testine mobili	a testine fisse
Tempo di accesso	> 10 s	~ 100 ms	~ 20 ms
Densità	$\sim 3 \cdot 10^4$ bit/cm^2	$\sim 10^5$ bit/cm^2	$\sim 10^5$ bit/cm^2
Capacità (per substrato)	$\sim 3 \cdot 10^7$ Byte (1 bobina)	10^8 Byte (1 pacco di dischi)	10^7 Byte (1 pacco di dischi)

Le tecniche decisionali nella realtà aziendale

FAUSTO RICCI
Honeywell Information Systems Italia
Direzione Centrale Marketing
Università degli Studi di Milano
Facoltà di Scienze

1. Introduzione

Alla base della nascita e dell'evoluzione di un'azienda, intesa come coordinazione economica in atto, vi sono sempre stati processi di decisione il cui contenuto razionale è funzione della qualità e quantità di informazioni che si posseggono sia sull'azienda che sull'ambiente in cui essa si sviluppa.
In questo ambito le tecniche decisionali consentono di valutare le componenti principali di una realtà in continua trasformazione, ed operarne una sintesi la cui efficacia dipende principalmente, come viene messo in luce nell'articolo, dal grado di integrazione di tali tecniche nei sistemi informativi aziendali.

2. Le tecniche decisionali

Negli ultimi anni si è avuto un notevole sviluppo di tecniche matematiche, statistiche e di ricerca operativa per l'impostazione e soluzione di problemi aziendali. E 'nata così una nuova disciplina che comprende le tecniche decisionali, intese come strumenti che permettono agli organi decisori dell'azienda di operare scelte razionali che formano parte integrante del processo di trasformazione dell'organismo aziendale.
Lo sviluppo è stato intenso soprattutto dal punto di vista teorico: sono oltre un centinaio le riviste qualificate in questo campo e le possibilità di applicazione sono numerosissime.
Quante fra queste però diventano applicazioni effettive, integrate nei sistemi informativi aziendali o almeno applicate con sistematicità? Qual è il contributo dei sistemi di elaborazione dei dati alla loro diffusione? Per rispondere a queste domande è opportuno precisare meglio il contenuto e la classificazione delle tecniche decisionali (fig. 1).
Abbiamo prima di tutto tecniche statistiche elementari per la strutturazione e la selezione delle informazioni, che permettono da un lato di organizzare le informazioni in archivi integrati e dall'altro ne consentono la sintesi, mettendo in evidenza le caratteristiche strutturali dei dati disponibili.
Si hanno poi tecniche statistiche evolute, come la correlazione multipla, l'analisi dei fattori e l'analisi discriminante, che permettono ad esempio l'individuazione dei fattori che condizionano il comportamento umano, nelle sue componenti psicologiche e sociologiche.
I due gruppi di tecniche statistiche cui si è accennato permettono il calcolo di indici sintetici che riassumono gli aspetti fondamentali, statici e dinamici, di tendenza e di variabilità, di una banca di informazioni elementari interne ed esterne ad un'azienda.
Tali indici sintetici costituiscono la base per l'applicazione di un altro gruppo di tecniche decisionali, divisibile nelle due classi di tecniche di ottimizzazione e tecniche di simulazione, che corrispondono ad altrettante classi di modelli. Fra questi i modelli di ottimizzazione operano in condizioni di certezza statistica, che si ha quando i dati disponibili hanno un elevato grado di affidabilità. Essi permettono il calcolo del minimo o del massimo di certe funzioni oggetto (costo o profitto) sottoposte a vincoli che derivano da limitazioni delle risorse o dal mercato. In questo tipo di modelli le variabili in gioco sono legate fra loro da relazioni molto semplici, in genere di tipo lineare.
I modelli di simulazione operano in condizioni di incertezza che può derivare sia dalla scarsa affidabilità o incompletezza dei dati che dalla complessità e aleatorietà delle relazioni fra le variabili oggetto d'indagine. Nei modelli di simulazione l'obiettivo principale è quello di descrivere le conseguenze dell'adozione di ipotetiche strategie aziendali, giungendo alla ottimizzazione, ancorché non assoluta, con un processo iterativo.

3. Alcune applicazioni

Vediamo ora di esaminare alcune fra le più tipiche applicazioni.
Il primo gruppo di tecniche decisionali fra quelli

elencati — tecniche statistiche elementari — ha dato luogo al maggior numero di applicazioni.
Le variabili oggetto di studio sono considerate singolarmente ed i semplici modelli in cui esse entrano sono di tipo descrittivo.
La più tipica applicazione si ha nell'ambito delle previsioni di vendita o di consumo, ed ha notevoli riflessi sull'economicità della gestione delle scorte (fig. 2). L'elaboratore esamina l'andamento passato delle vendite o dei consumi dei singoli articoli e ne rileva le componenti di tendenza, di eventuale ciclicità o stagionalità e di variabilità. Tali componenti sono poi estrapolate, cioè proiettate nel futuro, e per ogni periodo di previsione si calcolano intervalli di confidenza, tanto più ristretti quanto minore è la variabilità passata dei dati intorno al modello descrittivo. E' così possibile associare alle previsioni indici di affidabilità: entrambi vengono poi aggiornati man mano che pervengono nuove informazioni, dando maggior importanza alle informazioni più recenti rispetto a quelle più lontane nel tempo. Il metodo sin qui descritto di previsione, basato sulla storia passata di un fenomeno, ha naturalmente delle limitazioni. Non è applicabile a beni fortemente soggetti a moda, ed in generale non viene applicato per beni con alto valore unitario soggetti a variazioni molto irregolari. Ci sono invece molte applicazioni a previsioni di vendita di merci a largo consumo o di movimenti di parti di ricambio. In questi settori i programmi esistenti sugli elaboratori hanno raggiunto un notevole grado di completezza e di sofisticazione. Si adottano ad esempio modelli diversi, automaticamente, per articoli ad alta movimentazione, cui si adattano distribuzioni di tipo normale, o a bassa movimentazione, per i quali sono più adatte le leggi che regolano gli eventi rari (poissoniane). Qualora inoltre particolari articoli manifestino una variabilità troppo accentuata rispetto al modello che li descrive, essi vengono segnalati in liste apposite. Possono così essere presi provvedimenti ad hoc.
Le previsioni di vendita o di consumo sono poi utilizzate da programmi per il calcolo dei principali parametri di gestione delle scorte, quali il livello di riordino e le quantità da ordinare. L'elaboratore, su queste basi, emette automaticamente le proposte d'ordine e stampa direttamente, previa convalida degli uffici competenti, tutti i documenti necessari. In questo campo le tecniche statistiche elementari sono quindi significativamente integrate nei sistemi informativi aziendali.
Situazione nettamente diversa si ha invece per le tecniche statistiche più evolute. Intanto una approfondita conoscenza teorica, fuori dal campo universitario, è limitata ad un numero ristretto di persone, in genere facenti parte di uffici studi di medie e grosse aziende oppure operanti nel settore delle ricerche di mercato o della pubblicità.
Inoltre, le applicazioni nell'ambito di una stessa azienda sono in genere poco frequenti, anche a causa del costo non indifferente per la messa a punto e l'utilizzo dei modelli. Le applicazioni più tipiche si hanno

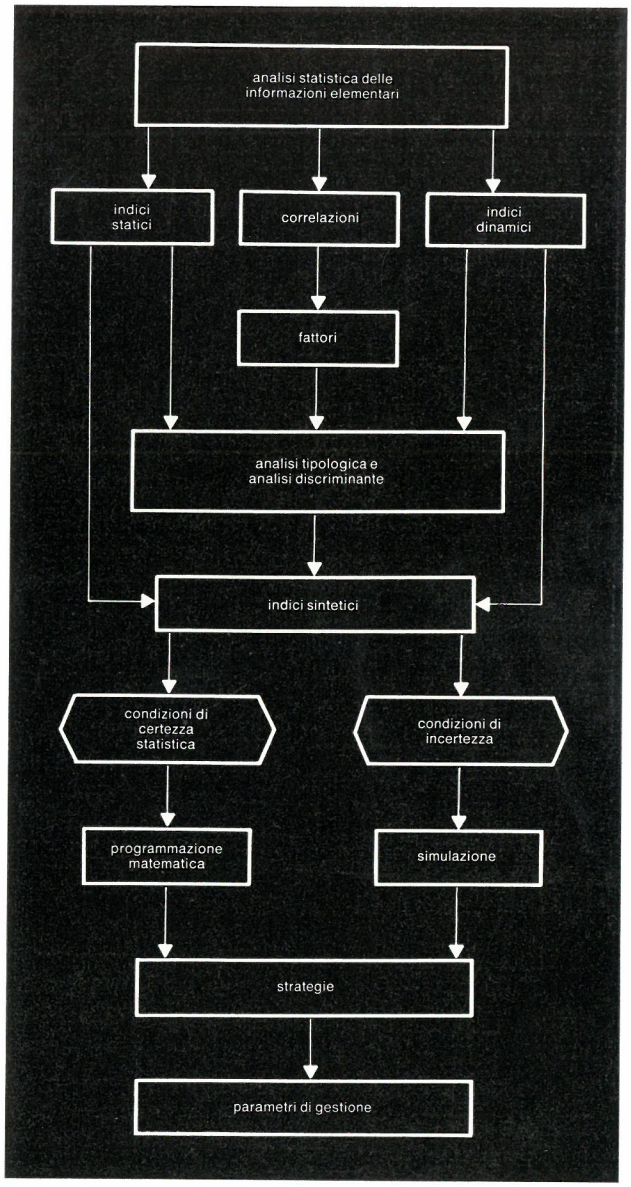


Fig. 1 - Le tecniche decisionali.

ancora per le previsioni di vendita e per le indagini motivazionali.
Modelli di previsione basati su tecniche di correlazione multipla sono già stati messi a punto ed applicati in molte aziende. A differenza dei semplici modelli descrittivi considerati in precedenza, si tratta ora di modelli interpretativi in cui si associano alla variabile oggetto di studio — ad esempio le vendite — altre variabili che si suppongono influenzare la prima, come le spese pubblicitarie, il prezzo, gli indici socio-economici di mercato, ecc.
Fra queste variabili l'elaboratore sceglie quelle statisticamente più significative e calcola i valori dei parametri delle relazioni che legano le variabili dipendenti alle altre. Conoscendo i valori delle variabili « causa », che possono essere oggetto di decisioni, come i prezzi e la pubblicità, oppure a loro volta estrapolati, come gli indici socio-economici, è possibile determinare una stima delle vendite future, nonché opportuni indici di affidabilità delle previsioni. Questi modelli sono naturalmente più generali di

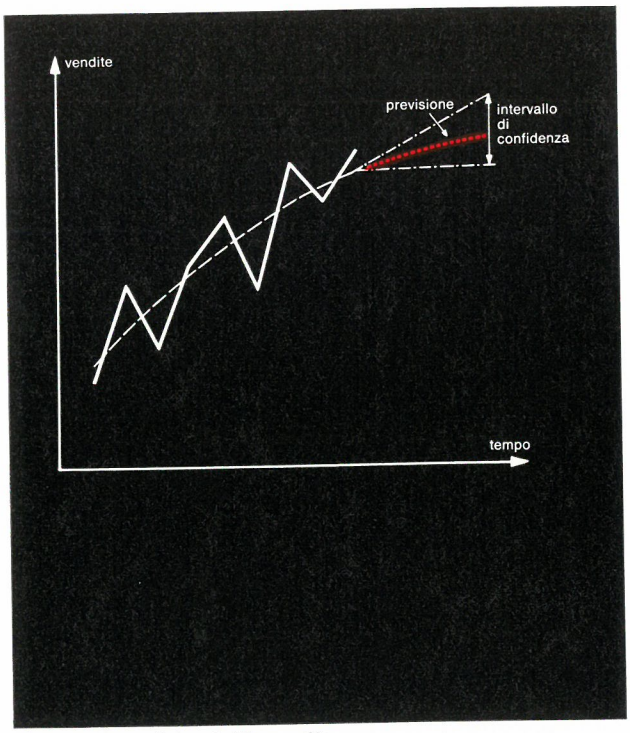


Fig. 2 - Previsioni di vendita.

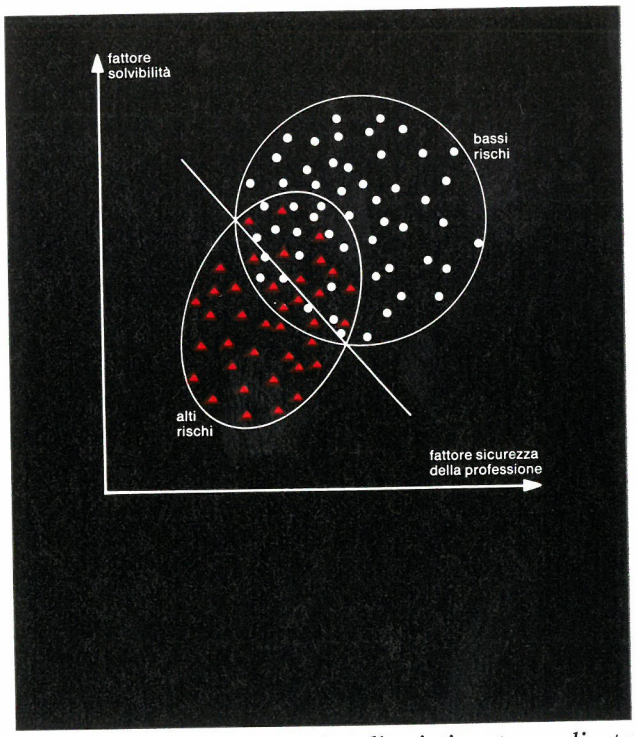


Fig. 3 - Analisi dei fattori e discriminante applicata alla valutazione dei rischi (i triangoli rossi indicano clienti cui è stato concesso credito con risultati negativi, mentre i dischetti bianchi indicano i casi con esito positivo).

quelli ad una sola dimensione, ma proprio per la maggiore complessità si applicano molto più raramente. Le applicazioni più comuni si hanno per classi di prodotti con alto valore complessivo. Una procedura abbastanza comune è, ad esempio, quella di affidare agli uffici studi le indagini sulle possibilità di vendita di un nuovo prodotto, o sulle conseguenze di variazioni nei prezzi.

Rientrano in questo contesto anche le indagini motivazionali, che tendono a individuare le componenti o fattori del comportamento di un gruppo di consumatori, e i modelli sul cambiamento di atteggiamenti, che più specificamente cercano di descrivere i motivi che inducono il consumatore a passare da una marca di prodotti ad un'altra.

Un altro campo di applicazione di modelli statistici evoluti è quello della concessione di credito. Il problema consiste nel controllare in modo parzialmente o totalmente automatico la concessione di crediti, in modo da aumentare il credito concesso a clienti che potenzialmente diano luogo a bassi rischi e ridurre al minimo le perdite derivanti dal concedere fiducia in condizioni di forte rischio.

Il controllo a priori può essere fatto con tecniche statistiche elementari mediante le quali si esaminano singolarmente una serie di caratteristiche del richiedente credito — età, professione, solvibilità, ecc. — e si decide se accettare o no una richiesta a seconda che vengano o meno superate certe soglie critiche, determinate con metodi empirici o con analisi statistiche di dati passati. Modelli statistici più evoluti, basati su tecniche di analisi discriminante, permettono invece di esaminare congiuntamente le suddette caratteristiche, tenendo conto non solo delle singole variabili ma anche della correlazione riscontrata fra esse, ed originando valutazioni globali molto più precise.

La struttura latente del fenomeno « rischio » viene schematizzata in termini di fattori (vedi fig. 3) sulla base dei quali è possibile discriminare l'insieme dei richiedenti credito in gruppi che presentano rispettivamente alti e bassi rischi potenziali, e prendere decisioni opportune.

Il grado di integrazione di questi modelli nei sistemi informativi aziendali è molto scarso. Da un lato infatti esistono pochi specialisti in grado di impostare i modelli stessi. Dall'altro le analisi descritte devono essere integrate da giudizi e informazioni di tipo qualitativo che riassumono l'influenza di tutti quei fattori difficilmente quantizzabili o di cui non è possibile tener conto, la cui importanza è vagliata in una misura che dipende dalla sensibilità dell'analista. Si prevedono però dei cambiamenti, sia pure graduali, nei prossimi anni. Ne saranno artefici, a nostro giudizio, gli stessi specialisti delle case costruttrici di elaboratori o delle società di consulenza, che stanno già studiando una nuova architettura dei sistemi di elaborazione per facilitare l'inserimento di queste tecniche nei metodi gestionali attuali.

Le informazioni contenute nelle banche di dati delle aziende sono condensate in indici sintetici che costituiscono la base per la costruzione di modelli.

L'applicazione di modelli, in quanto schematizzazioni di situazioni interne ed esterne ad una azienda nelle loro componenti principali, è molto diffusa a livello del management operativo delle aziende, sia pure in

modo spesso inconscio e con un notevole grado di soggettività ed empirismo. In questa sede ci interessa però considerare l'applicazione di modelli propriamente di ricerca operativa, che abbiamo distinto in modelli di ottimizzazione e di simulazione.

Nell'ambito della prima classe i più diffusi sono i modelli di programmazione lineare e, più in generale, di programmazione matematica, che permettono di calcolare il minimo o il massimo di funzioni in genere collegate al costo o al profitto di un progetto, di un settore aziendale o al limite dell'intera impresa, in presenza di limitazioni delle risorse disponibili — cioè materie prime, manodopera, capacità produttiva degli impianti, mezzi di trasporto, ecc. — e di vincoli di mercato sulla qualità e quantità di prodotti da mettere in produzione e/o da distribuire (vedi fig. 4).

Le applicazioni in questo campo sono molteplici. Il livello maggiore di sofisticazione è stato raggiunto nelle aziende petrolifere in cui modelli di grosse dimensioni, con migliaia di variabili e di vincoli, costituiscono le tecniche decisionali di base nel campo della produzione e della distribuzione dei prodotti petroliferi. Il grado di integrazione nei sistemi informativi è molto elevato: i coefficienti produttivi vengono ricavati direttamente dai sistemi di rilevazione contabile ed extracontabile, le previsioni di vendita sono periodicamente aggiornate dagli uffici marketing ed i fattori di costo e i margini di contribuzione sono rielaborati continuamente per tener conto del mercato. In questo campo gli elaboratori hanno dato un contributo decisivo, sia in fase di raccolta e organizzazione dei dati di base, sia in sede di calcolo, sia in sede di preparazione dei rapporti tecnici e manageriali.

Applicazioni molto interessanti si hanno anche per l'ottimizzazione dell'efficacia degli investimenti pubblicitari. Disponendo di un budget limitato, si vuol trovare la combinazione di messaggi pubblicitari che per mezzo di diversi veicoli raggiunga con la maggior efficacia possibile un certo gruppo di consumatori. Studi di questo genere trovano una naturale possibilità di sviluppo negli uffici studi delle agenzie di pubblicità e delle società di ricerche di mercato, che dispongono o possono reperire rapidamente i dati necessari, mentre trovano scarse applicazioni dirette nelle altre aziende.

Molte applicazioni di modelli di ottimizzazione si hanno invece nelle imprese di trasporto o in alcune grandi aziende che risolvono autonomamente problemi di distribuzione. L'elaboratore interviene qui già nella fase di impostazione dei progetti: sono disponibili ad esempio programmi ed analisi per la scelta della collocazione ottimale dei magazzini periferici. In una fase successiva l'elaboratore interviene per l'ottimizzazione degli itinerari dei mezzi di trasporto. E' a questo punto che si manifesta maggiormente l'utilità di una gestione integrata: esiste infatti una stretta interazione fra l'affidabilità delle previsioni di vendita o di consumo, l'ottimizzazione statica e dinamica del processo di distribuzione e l'economicità

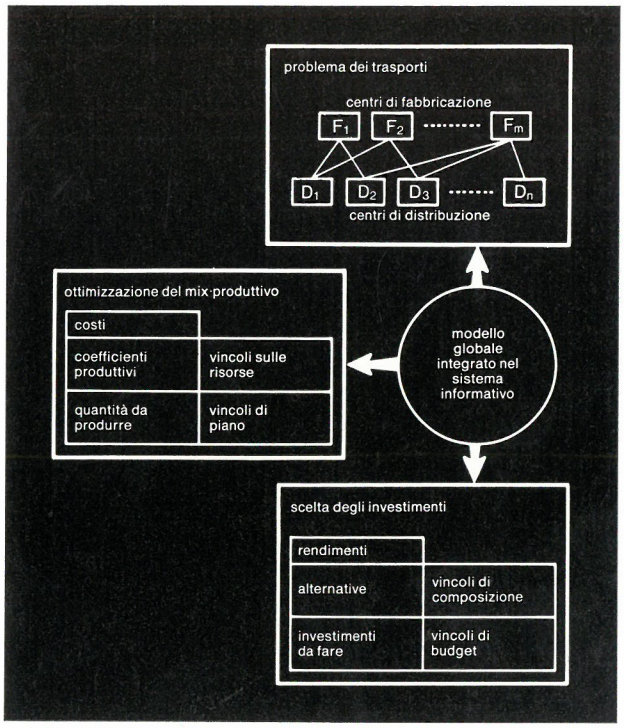


Fig. 4 - Applicazioni di programmazione matematica.

della gestione delle scorte e di molti settori aziendali. Nel campo dei trasporti si sta verificando in Italia una confluenza di interessi privati e pubblici. La razionalizzazione dei trasporti non è più un problema sentito solo a livello locale ma ha una dimensione intercomunale ed in qualche caso regionale. La creazione di autoporti in convenienti posizioni geografiche se da un lato può aumentare l'economicità delle imprese di trasporto risponde dall'altro ad un preciso disegno di pianificazione territoriale. Anche qui l'elaboratore entra già nelle primissime fasi della progettazione e, a regime, forma il nucleo del sistema informativo che regola l'arrivo, la conservazione e la distribuzione delle merci e la gestione dei mezzi di trasporto (vedi fig. 5).

In questo settore è molto importante anche l'ultimo gruppo di tecniche decisionali da noi considerate, cioè quelle di simulazione.

Simulare un fenomeno significa riprodurlo artificialmente in modo da rispettare le leggi probabilistiche o deterministiche che governano il comportamento delle variabili oggetto di studio e le relazioni fra di esse. Mediante la simulazione su elaboratore è ad esempio possibile seguire l'evoluzione di fenomeni nel tempo e controllare l'efficacia di strategie aziendali alternative, in condizioni di incertezza.

La simulazione è attuata in fasi successive, mettendo a punto modelli descrittivi sempre più perfezionati, man mano che l'esame dei risultati dei calcoli, in forma grafica o in forma tabellare, consente di precisare il tipo di relazione esistente fra i diversi fenomeni sotto controllo e di definire le migliori strategie ed i corrispondenti parametri di gestione. La simulazione è forse lo strumento decisionale più difficile da usare ed in genere adoperato soltanto da specialisti

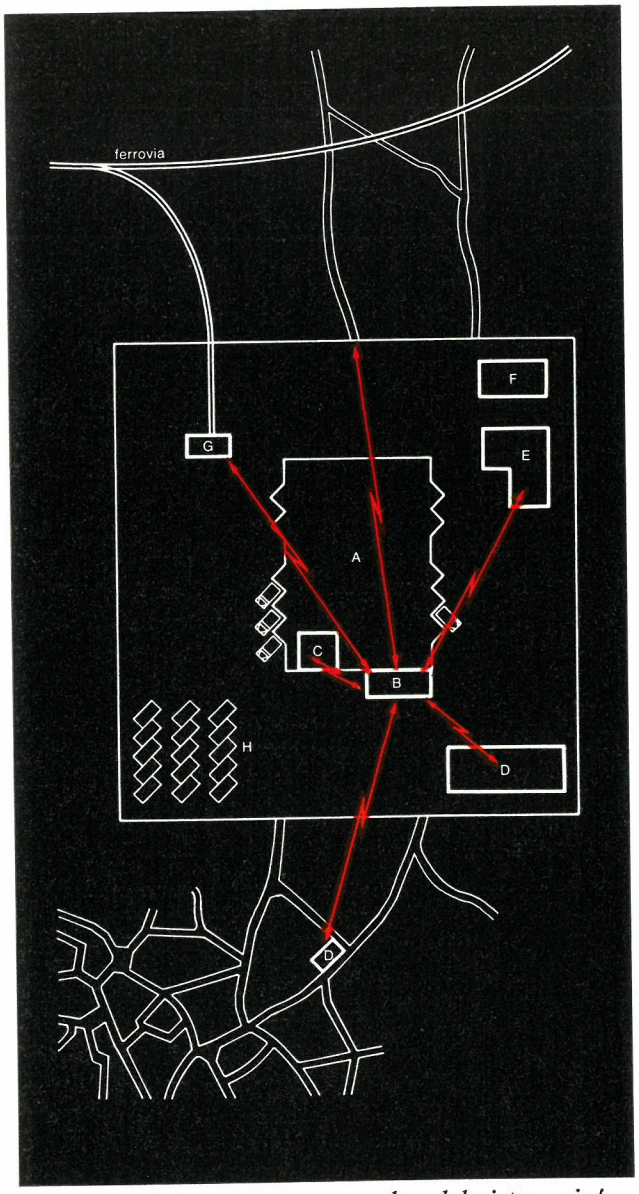


Fig. 5 - L'elaboratore come nucleo del sistema informativo di un autoporto (A = magazzino, B = centro elettronico, C = elab. di processo, D = uffici, E = officina, F = motel, G = terminale ferroviario, H = area di parcheggio).

degli uffici studi e ricerche delle aziende. Le applicazioni pratiche più importanti si hanno nello studio di efficienza dei sistemi. Abbiamo già citato le possibilità di simulare il traffico di veicoli e il movimento delle merci negli autoporti: identiche operazioni sono naturalmente possibili nei porti e nelle stazioni ferroviarie od aeree. Altre possibilità di applicazione della simulazione si hanno nel campo dei sistemi anagrafici o negli Istituti di Credito. In questo contesto si hanno anche esempi di simulazione dell'efficienza di un sistema di elaborazione operante in tempo reale: le simulazioni permettono infatti di determinare la struttura ottimale della rete di terminali collegati all'elaboratore centrale in modo che questo sia sfruttato razionalmente e limitando al minimo i tempi di attesa — le classiche code — ai terminali. Con l'elaboratore che concorre al disegno di un sistema di cui esso stesso sarà parte integrante abbiamo terminato l'esame di alcune tipiche applicazioni delle tecniche decisionali nella realtà aziendale attuale. A nostro giudizio tali tecniche assumeranno un'importanza via via crescente nei prossimi anni in Italia. L'aumento dei costi di gestione, e, in particolare, del costo del lavoro, come pure il crescere della pressione della concorrenza internazionale tenderanno ad accelerare il processo di razionalizzazione della gestione aziendale nel senso soprattutto di ottimizzazione delle risorse disponibili.

Bibliografia

[1] H.H. HARMAN, « *Modern Factor Analysis* », Univ. of Chicago Press.

[2] F.F. MARTIN, « *Computer Modeling and Simulation* », Wiley.

[3] W.J. DIXON, F.. MASSEY, « *Introduction to Statistical Analysis* », Mc Graw Hill.

[4] W. ORCHARD-HAYS, « *Advanced Linear Programming Computing Techniques* », McGraw Hill.

[5] B. HERTZ, R.T. EDDISON, « *Progress in Operations Research* », Wiley.

[6] E.F. BEACH, « *Economic Models* », Wiley.

[7] L. VAJANI, « *Teoria Statistica delle Previsioni* », Etas-Kompass.

Problemi e prospettive dell'informatica sanitaria

PAOLA M. MANACORDA
Consulente di Informatica Sanitaria

1. Introduzione

Il processo di introduzione del calcolatore nell'attività sanitaria non ha più carattere di novità né di eccezionalità nemmeno nel nostro paese, in cui è d'obbligo lamentare il « decennale ritardo » rispetto a paesi tecnologicamente più avanzati. La dimensione attuale del fenomeno non è conosciuta con precisione, poiché gli ultimi dati certi di cui si dispone sono quelli rilevati dall'inchiesta di Bottasso, Marchi e Pedrazzi citata in bibliografia [1]. Tali dati, riportati nella tabella 1, mostrano che, alla metà circa del '72, dei 257 ospedali medio-grandi interpellati, 120 risultavano utenti di mezzi di calcolo, con un prevedibile concentramento nell'Italia settentrionale.

Applicando a questa cifra un tasso di incremento del 25%-30% per i due anni successivi (per analogia con altri settori di applicazione nei primi anni del loro sviluppo), si potrebbe ipotizzare, per la situazione attuale, una cifra tra i 180 e i 200 ospedali utenti di mezzi di calcolo, presumibilmente tutti al di sopra dei 400-500 letti. Anche nella ragionevole ipotesi che il tasso di incremento dell'automazione diminuisca nei prossimi cinque anni, anche a causa della critica situazione finanziaria degli ospedali, non è azzardato pensare che verso la fine degli anni '70 gli elaboratori potrebbero essere utilizzati da circa 250 ospedali e da 20-30 strutture sanitarie non ospedaliere, prevalentemente Regioni, Comuni, centri di medicina preventiva.

Il fenomeno, quindi, comincia ad interessare un numero potenzialmente piuttosto elevato di cittadini, sani e ammalati, pazienti e medici, tecnici ed amministratori. È interessante notare che si assiste, in questo settore, ad una evoluzione in qualche modo analoga a quella che si è avuta nel settore aziendale. Agli entusiasmi iniziali, alla fiducia acritica nel calcolatore come soluzione di tutti i problemi, è subentrato gradualmente un atteggiamento più cauto, meno fideistico, più consapevole delle molteplici condizioni necessarie a garantire, con l'introduzione del calcolato-

Tabella 1 - Ospedali utenti di elaboratori e/o servizi EDP per grandi aree e per categoria (cifre assolute e percentuali)

Area geografica	Classificazione			
	Osp. Generali 1ª categoria	Osp. Generali 2ª categoria	Osp. Specialistici 1ª categoria	Totale
Nord	40/55 = 73%	31/68 = 46%	8/16 = 50%	79/139 = 57%
Centro	13/18 = 72%	10/40 = 25%	2/4 = 50%	25/62 = 40%
Sud - Isole	9/21 = 43%	5/28 = 18%	2/7 = 29%	16/56 = 29%
Italia - Totale	62/94 = 66%	46/136 = 34%	12/27 = 44%	120/257 = 47%

re, un reale miglioramento dell'attività sanitaria. Per rendersi conto dei motivi di questo mutato atteggiamento occorre esaminare le motivazioni che stanno alla base dell'adozione del calcolatore, i risultati finora raggiunti, i fallimenti, le prospettive aperte.

2. I due ruoli del calcolatore

Nella sanità il calcolatore è stato introdotto originariamente in attività di ricerca biomedica, e prevalentemente come strumento di calcolo; il suo uso per fini organizzativi e gestionali, che oggi ci appare come quantitativamente prevalente, è successivo (dei primi anni 60 negli USA). Ancora oggi è possibile, volendo fare una rassegna delle applicazioni, separare le applicazioni di supporto dell'attività diagnostico-terapeutica da quelle a carattere organizzativo-gestionale. I due modi, è chiaro, non sono mutuamente esclusivi, talvolta anzi si integrano, ma è opportuno, anche se un po' schematico, analizzarli separatamente, in quanto configurano modi qualitativamente diversi di utilizzare il calcolatore, e quindi anche requisiti e condizioni diverse per tale uso. Inoltre, e l'osservazione comporta conseguenze tutt'altro che trascurabili, la separazione tra aspetto clinico e aspetto gestionale discende dalla parallela separazione esistente nella pratica medica, e in particolare nell'ospedale. Soltanto quando questa separazione sarà stata realmente superata, con un rilevante salto di qualità dell'assistenza sanitaria, i due aspetti torneranno ad integrarsi completamente, con ovvio vantaggio dei pazienti; l'uso del calcolatore potrà essere ancora diverso, probabilmente più difficile, ma certamente più proficuo.

3. Il calcolatore come ausilio diagnostico-terapeutico

Visto come supporto dell'attività diagnostico-terapeutica, il calcolatore è essenzialmente strumento di calcolo e di controllo di processo. Ad esso vengono generalmente collegate apparecchiature per la rilevazione di parametri fisiologici (temperature, pressioni, frequenze) o di segnali elettrici (come nella rilevazione dell'elettrocardiogramma). La funzione del calcolatore è quella di consentire di ricavare, dai parametri o segnali originari, delle indicazioni significative ai fini diagnostici. Perché possa far questo è necessario che il calcolatore sia dotato di programmi che realizzino *algoritmi*, cioè metodi di calcolo che consentano di ottenere, dai parametri rilevati, certe loro funzioni.

L'applicazione forse più conosciuta, tra quelle di questo tipo, è l'analisi automatica dell'elettrocardiogramma (ECG), in cui, partendo dal valore del segnale in alcuni punti convenzionalmente indicati con P, Q, R, S, T, si ricavano, ad esempio, la misura degli intervalli P-R e R-T, la misura del voltaggio del complesso QRS, la misura della frequenza cardiaca, l'orientamento degli assi cardiaci ed altre analoghe grandezze. L'analisi automatica dell'ECG è un esempio di « analisi di un tracciato »: caratteristiche simili si ritrovano nell'« analisi dell'immagine », in cui, a partire da immagini ricavate con tecniche diverse (radiografia, termografia, scintigrafia), si cerca di ricostruire le alterazioni morfologiche di organi.

Intervengono problemi un po' diversi quando al calcolatore si richiede di svolgere certe funzioni diagnostiche in tempo reale, cioè in un tempo tale da consentire un rapido intervento terapeutico. È il caso del « monitoraggio », cioè dell'assistenza continua a pazienti molto gravi, che devono essere tenuti sotto una costante sorveglianza. Nel monitoraggio dei pazienti acuti il calcolatore esegue sui parametri rilevati ad intervalli di tempo prefissati o addirittura in continuità, confronti rispetto agli estremi di un intervallo, e segnala il superamento di tali estremi con indicazioni di allarme; correla tra di loro valori di parametri diversi e, purché sia dotato dei programmi opportuni, può in taluni casi indicare verso quali valori tende un parametro, consentendo così di intervenire con provvedimenti terapeutici di emergenza per scongiurare situazioni critiche.

Risulta evidente da quanto detto che in applicazioni di questo tipo i problemi più ardui non sono quelli di carattere tecnologico; i dati da trattare non sono mai così numerosi da porre problemi di gestione di grandi archivi, e i tempi di elaborazione, anche quando siano richieste caratteristiche di tempo reale, non sono mai così brevi da risultare incompatibili con il livello tecnologico attuale. Ad un calcolatore per il monitoraggio si richiederà in generale di avere alcuni canali per il collegamento delle apparecchiature, ed un certo numero di livelli di interruzione. Ma questi requisiti, anche se devono essere tenuti presenti nella scelta del sistema di elaborazione, non impedirebbero, di per sé, la realizzazione di applicazioni di questo tipo. L'ostacolo più grave, invece, proviene dalle difficoltà inerenti alla definizione di quegli algoritmi cui prima abbiamo accennato. Il livello attuale delle conoscenze mediche, caratterizzato da un grado ancora consistente di empirismo, fa sì che le relazioni tra i diversi parametri siano ancora in larga parte ipotesi di ricerca da sperimentare. Per dare alcuni esempi concreti, l'analisi automatica dell'ECG consente per adesso soltanto di distinguere tra tracciati normali e non normali, e anche questo con una affidabilità non ancora soddisfacente, mentre si è assolutamente lontani dall'aver definito degli algoritmi di interpretazione del segnale di sicuro valore diagnostico.

Ecco quindi che il ruolo del calcolatore, nelle applicazioni a carattere diagnostico-terapeutico, si definisce con alcune, non marginali, limitazioni: strumento indispensabile nella ricerca, proprio ai fini della definizione e sperimentazione di quelle relazioni, si rivela prematuro come strumento generalizzato dell'assistenza. Rifacendosi ancora al monitoraggio, esistono unità di cura intensiva coronarica, in cui vengono assistiti con continuità gli infartuati gravi, gestite completamente dal calcolatore; ma nessuno è ancora riuscito a dimostrare che tale assistenza automatiz-

zata, con le sue caratteristiche di rilevazione tempestiva e rigorosa, migliori sensibilmente il tasso di sopravvivenza dei ricoverati, obiettivo ultimo di ogni innovazione. Di fronte ai costi (certi e rilevanti) ed ai risultati (incerti) l'unica politica seria è quella consistente nell'incentivare la ricerca e la sperimentazione, e nel limitare la diffusione incontrollata sul piano assistenziale.

4. Il calcolatore come supporto dell'attività organizzativa

Anche se le applicazioni a carattere diagnostico-terapeutico sono quelle che più colpiscono l'immaginazione del profano, spesso stimolata da una divulgazione tanto scorretta quanto interessata (il « computer in corsia », il « calcolatore che salva vite umane »), tuttavia le applicazioni organizzativo-gestionali sono quelle potenzialmente più capaci di incidere sul sistema sanitario. In esse il calcolatore svolge prevalentemente il ruolo di « macchina per il trattamento dell'informazione », cioè viene utilizzato per archiviare e reperire grandi quantità di informazioni, effettuando su di esse un numero relativamente esiguo di elaborazioni, a carattere non sofisticato.

La motivazione consueta dell'adozione del calcolatore a livello dell'ospedale è la necessità di razionalizzare il flusso di informazioni. Questa necessità sorge fin dal momento in cui il paziente fa il suo ingresso in ospedale: la sua « accettazione » infatti mette in moto una serie di operazioni che vanno dall'assegnargli un letto al sottoporlo ad un esame di laboratorio, dal fornirgli un pasto all'inviarlo ad un ambulatorio specialistico. Lungo tutto l'arco della degenza il paziente interagisce con i medici, con gli infermieri, con i servizi diagnostici (laboratorio, radiologia) con quelli logistici (cucina, lavanderia), con quelli amministrativi. In ciascuna di queste interazioni si originano delle informazioni, che devono venir scambiate tra i diversi punti dell'ospedale. Ciò che rende abbastanza complicato questo scambio, oltre alla quantità di informazioni e alla pluralità delle origini e destinazioni, è il fatto che ogni interazione dà luogo ad informazioni di diversa natura: clinica, per il medico curante o per il paziente, gestionale, per i diversi servizi dell'ospedale. Tradizionalmente, le informazioni a carattere clinico sono raccolte e conservate nella « cartella clinica », mentre quelle a carattere gestionale trovano posto nei « registri » (registro di laboratorio, della radiologia, dell'accettazione, registri contabili). L'obiettivo dell'introduzione dell'automazione, in generale, è quello di generare e raccogliere in un solo momento i diversi aspetti dell'informazione, evitando le trascrizioni ripetute, i relativi errori, i ritardi. Vediamo come questo obiettivo viene realizzato in un caso, quello del laboratorio di analisi, per molti versi paradigmatico.

5. L'automazione del laboratorio di analisi

Salvo poche varianti, la procedura di automazione del laboratorio è quasi sempre riconducibile allo schema seguente. Dai reparti le richieste di esami affluiscono al calcolatore; questa raccolta può essere effettuata in linea (tramite terminali dislocati nei reaperti e collegati al calcolatore) o fuori linea, cioè tramite schede perforate o marcate. Sulla base di queste richieste il calcolatore prepara il « piano dei prelievi », cioè un prospetto dei prelievi di materiale fisiologico da effettuare sui pazienti, con l'indicazione del loro nome e cognome, letto e corsia, delle quantità da prelevare e di eventuali condizioni speciali di prelievo. Con gli stessi dati, inoltre, vengono stampate delle etichette autoadesive per contrassegnare le provette ancora vuote, in modo da prepararle correttamente per il prelievo. Queste operazioni non sono, come potrebbe sembrare, del tutto secondarie rispetto a quella fondamentale dell'esame. In effetti è stato rilevato che una buona parte degli errori può avvenire in fase di prelievo, scambiando un paziente con l'altro o scambiando le loro provette, con risultati facilmente immaginabili. Sempre sulla base delle richieste, che specificano il tipo di esame da effettuare, il calcolatore prepara il « piano di lavoro » del laboratorio, assegnando ad ogni posto di lavoro, manuale o strumentale, un certo numero di campioni da analizzare; al momento del loro arrivo in laboratorio, le provette saranno smistate secondo il piano predisposto. Al termine di ogni esame, il relativo risultato viene introdotto nel calcolatore. Qui le varianti sono numerose: si va dalla acquisizione completamente fuori linea, tramite schede marcate o banda di carta, alle tastiere di terminali dislocati vicino ai posti di lavoro, al collegamento diretto della strumentazione analitica con il calcolatore. La persistenza di soluzioni così diverse si spiega con il fatto che non esistono prove irrefutabili della bontà dell'una o dell'altra soluzione: il collegamento in linea della strumentazione fa risparmiare tempo e probabilmente errori, ma non consente la verifica intermedia dei risultati da parte del tecnico e rende tutto il sistema troppo rigido, costringendo a modificarlo quando si cambia un apparecchio.

Quale che sia il modo di acquisire i risultati analitici, con essi il calcolatore crea il « record risultati » per ogni paziente, lo stampa, producendo così il « referto », e lo archivia. In generale i risultati sono conservati per la sola durata della degenza, e si può ottenere dal calcolatore il cosidetto « referto longitudinale », che presenta in forma grafica l'andamento di una certa determinazione nell'arco della settimana o dell'intera degenza. La distribuzione dei referti nelle corsie viene poi effettuata a mano, a meno che non vi siano in reparto delle piccole stampanti collegate all'elaboratore.

Sui dati accumulati si possono poi fare statistiche di diverso tipo, alcune a carattere gestionale, cioè che sostituiscono il vecchio registro di laboratorio, ed altre, forse più importanti ai fini della funzionalità del laboratorio stesso. Si tratta in particolare del « controllo di qualità » sui risultati, cioè di un controllo volto a stabilire il grado di accuratezza e precisione delle procedure analitiche in uso. Confron-

tando risultati ottenuti dallo stesso campione in tempi e modi diversi si può infatti valutare il grado di ripetibilità di una misura e quindi indirettamente la sua attendibilità. Tra le diverse possibilità offerte dall'uso del calcolatore in un laboratorio di analisi, questa è forse la più interessante, perché consente ai responsabili del laboratorio di effettuare una valutazione critica dell'attendibilità dei dati prodotti, e quindi del ruolo diagnostico effettivamente svolto, ed ai responsabili dell'organizzazione sanitaria di confrontare le prestazioni di diversi laboratori, intervenendo laddove queste si rivelino al disotto di certi standard.

Dalla descrizione, seppure un po' sintetica, delle procedure automatizzate di un laboratorio si possono trarre alcune considerazioni valide per tutti gli interventi di automazione nel settore sanitario:

— è possibile automatizzare solo quelle procedure per le quali la dinamica dell'informazione sia nota e relativamente stabile; l'intervento dell'automazione, d'altra parte, tende ad irrigidire il sistema, e quindi va usata con cautela nelle strutture soggette a rapida evoluzione;

— nel definire, e quindi poi nel valutare, i possibili benefici di un intervento di automazione, occorre guardare più a quelli di carattere qualitativo, diretto ed indiretto (miglioramento della qualità dei dati, nel caso del laboratorio) che ai vantaggi di carattere economico. Ad esempio, anche dove l'automazione del laboratorio conduca realmente ad accorciare i tempi di restituzione del referto, questo può non comportare automaticamente una riduzione della degenza. Perché questa possa realizzarsi occorre infatti il verificarsi di una serie di condizioni che esulano dall'ambito del laboratorio ed investono la più generale organizzazione dell'ospedale, gli orari del personale, la disponibilità dei medici, e così via. Soltanto una considerazione più larga dei « benefici » può quindi, in alcuni casi, rendere conveniente il famoso « rapporto costi/benefici », così difficile da calcolare ovunque, e nella sanità in modo particolare.

6. L'automazione della cartella clinica

La prima delle considerazioni precedenti va tenuta presente quando si esaminano i risultati dei numerosi tentativi di automatizzare la cartella clinica e di realizzare Sistemi Informativi totali.

L'automazione della cartella clinica è stato un obiettivo a lungo accarezzato da quanti si occupavano di informatica medica. Ridurre quel coacervo disorganico di informazioni, notizie, pareri, dati, a diverso livello di significatività, di sintesi ad un insieme di informazioni coerente ed omogeneo, leggibile e classificabile, archiviabile e recuperabile in modo automatico appariva, com'è facile capire, un grosso passo avanti sulla via della razionalizzazione della pratica medica. Senonché proprio la natura della cartella ha frustrato finora questo tentativo, poiché il suo apparente « disordine » riflette in realtà lo scarso grado di « strutturazione » dell'informazione clinica, la difficoltà di definire la significatività di ogni informazione se non in rapporto alle altre, e nello stesso tempo, la carenza di strumenti metodologici che consentano di passare dalle informazioni disaggregate a sintesi significative di esse. Il più importante dei tentativi intrapresi su questa via è quello di Weed, il quale, conscio che la semplice sequenza cronologica delle annotazioni non costituiva nessun filo conduttore all'interno della cartella, ha proposto una aggregazione per « problemi »: intorno ad un problema clinico individuato dal medico, vengono raccolte tutte le informazioni che ad esso si riferiscono; i diversi problemi sono poi descritti nella cartella in ordine cronologico di presentazione. Per quanto questa proposta costituisca un passo avanti rispetto alla semplice elencazione cronologica dei sintomi, dei risultati diagnostici e dei provvedimenti terapeutici, tuttavia la sua adozione non è semplice come potrebbe sembrare. Quella che potrebbe sembrare una metodologia univoca di rilevazione, si presenta in realtà abbastanza suscettibile di ambiguità, poiché il punto centrale della cartella, cioè la definizione del « problema », varia da medico a medico, a seconda della sua esperienza e del suo modo di vedere le cose. Tuttavia questa impostazione, che è detta « problem-oriented », ha consentito al Karolinska Institut di Stoccolma di intraprendere la gestione automatica della cartella clinica, con buoni risultati. Per valutare appieno il valore di questo esperimento occorre considerare che esso si riferisce ad uno spettro di patologia abbastanza limitato, che la cartella automatizzata è usata prevalentemente all'interno dello stesso istituto che l'ha prodotta, ed infine occorre tener presente che in questo caso l'intervento del calcolatore è limitato alla archiviazione e stampa del contenuto della cartella, il quale è già strutturato dal medico al momento della raccolta delle informazioni. In questo, cioè nel favorire una raccolta sistematica e strutturata delle informazioni da parte del medico, sta forse il valore principale della cartella del Karolinska.

7. Il sistema Informativo Ospedaliero

Quanto al Sistema Informativo Ospedaliero, è forse il campo in cui meno i risultati hanno corrisposto alle aspettative iniziali. Ciò viene solitamente attribuito alla scarsa chiarezza nella definizione degli obbiettivi, alla difficoltà di coinvolgere il personale nelle procedure informative ridefinite, agli elevati tempi e costi di realizzazione. Queste motivazioni sono senz'altro vere, ma ci sembra che la motivazione più profonda, e che in un certo senso riassume anche le precedenti, possa essere la seguente, del resto valida anche per i sistemi informativi di altro tipo: per poter produrre i suoi effetti, che si presumono positivi, un Sistema Informativo deve poter funzionare in un contesto decentemente organizzato; occorre cioè che le disfunzioni del sistema globale non inficino le possibilità di funzionamento della sua parte informativa. Ma, e qui sta il punto, il tessuto organizzativo del sistema globale non si esaurisce in quello informativo, ma comprende una quantità di altri aspetti sui quali non è

possibile incidere attraverso il solo controllo delle informazioni; essi riguardano, nel caso particolare dell'ospedale, la consistenza degli organici, e i rapporti esistenti tra le diverse componenti (mediche, ausiliarie, amministrative), problema questo più volte sottovalutato; riguardano ancora i rapporti tra l'ospedale e il suo bacino di utenza e quelli tra l'ospedale e le altre strutture sanitarie. Finché questi nodi non sono risolti, il Sistema Informativo non può che restarvi impigliato, scontrarsi fatalmente con l'indifferenza del personale, il rifiuto di adeguarsi alle procedure, l'impossibilità di pianificare. Questo spiega il fatto che Sistemi Informativi si siano potuti realizzare in Svezia, dove le condizioni minime di organizzazione erano già soddisfatte, e dove quindi la dinamica dell'informazione era sufficientemente controllabile; e perché sia così difficile realizzarli da noi, in situazioni ospedaliere caratterizzate da sovraffollamento, inadeguatezza, talora non solo quantitativa, del personale, estrema burocratizzazione delle procedure (basti pensare che ogni Ente mutualistico richiede un diverso formato per le fatture dei suoi assistiti), atteggiamento della componente medica.

Queste considerazioni non escludono che si possano utilmente intraprendere interventi più limitati, i quali, per essere veramente efficaci, dovrebbero puntare più ad un obiettivo di controllo delle risorse, e relativa pianificazione dell'attività dell'ospedale, che ad obiettivi di risparmio in tempi brevi. In questo senso, interventi nel settore della gestione dei magazzini possono essere utili se sono finalizzati ad una migliore — in tutti i sensi, e non solo economica — gestione delle risorse, e se intendono, ad esempio, la farmacia non solo come un magazzino che carica e scarica, ma come un importante servizio terapeutico, la cui attività va controllata e guidata soprattutto nei suoi aspetti di interazione con i reparti. Analogamente, la gestione automatica del movimento pazienti, che consente di avere ogni giorno la situazione dell'occupazione dei letti, potrebbe essere di grande utilità per programmare, in collegamento con le Unità Sanitarie locali, l'attività dell'ospedale, ma è chiaro che tale gestione automatica risulterebbe del tutto sprecata in un ospedale costretto a sistemare i pazienti nei corridoi, o che agisca in maniera del tutto indipendente dalle esigenze del territorio.

Interazione tra reparti e servizi, e tra medici e servizi, controllo e pianificazione dell'attività sono quindi i veri obiettivi che potrebbero qualificare interventi di automazione nell'ospedale; difficoltà strutturali a raggiungere questa interazione, e a svolgere una vera attività di pianificazione, sono oggi i pesanti vincoli che invece orientano l'automazione ospedaliera verso obiettivi di limitato respiro e spesso illusori (risparmi di personale, risparmi economici in senso stretto).

8. L'automazione nei sistemi sanitari di area

Questi stessi obiettivi dovrebbero caratterizzare l'intervento dell'automazione nel settore sanitario più in generale, vale a dire a livello delle diverse strutture che in base a leggi già vigenti, come quella sulle funzioni delegate alle Regioni, o non ancora approvate, come quella sulla riforma sanitaria, devono erogare l'assistenza. Si può anzi assistere oggi ad un fiorire di iniziative, ricerche, dibattiti e convegni intorno al tema dell'informazione sanitaria a livello di area. Gli strumenti più frequentemente discussi, esaminati o progettati sono: le anagrafi sanitarie, i registri, i sistemi informativi regionali o locali.

Per *anagrafe sanitaria* si intende una raccolta di dati a livello individuale, che sia in grado di fornire, in ogni momento ed in qualunque luogo, un insieme di informazioni essenziale all'erogazione di una corretta assistenza. Nelle diverse ipotesi di anagrafe sanitaria si ammette che il record individuale debba contenere, oltre ai dati anagrafici in senso stretto, almeno l'indicazione del gruppo sanguigno, delle allergie ai medicinali, delle malattie cardiovascolari, di quelle dismetaboliche, nonché l'indicazione degli interventi operatori subiti e delle degenze in ospedale. Poiché la registrazione dettagliata degli eventi relativi alle degenze comporterebbe l'accumulo di una quantità rilevante di dati, i progetti di anagrafe prevedono in generale che nel record individuale sia riportata solo l'indicazione della data, del luogo e del tipo di degenza effettuata, nonché « l'indirizzo » di un'altra anagrafe, a livello più basso (ospedale, unità sanitaria locale, comune) in cui reperire i dati dettagliati sulla degenza. È questo lo schema realizzato in Svezia.

Ci si è accorti ben presto che, a parte alcune considerazioni di merito che esporremo più avanti, una anagrafe sanitaria, in particolare a livello nazionale, comportava delle complessità organizzative, tecnologiche e quindi economiche estremamente ardue.

Basti riflettere che l'esempio cui comunemente ci si riferisce, quello già citato della contea di Stoccolma, ha memorizzato finora le informazioni relative a poco più di un milione e mezzo di cittadini, e che l'obbiettivo finale è di estendere l'anagrafe a tutta la popolazione della Svezia, che è pari a quella della Lombardia (8.000.000 di persone). Inoltre l'anagrafe si basa su un sistema sanitario definito e stabile ormai da molti anni, e si avvale di collaborazioni istituzionali (i dati anagrafici sono aggiornati settimanalmente da un nastro dei movimenti fornito direttamente dagli uffici centrali anagrafici). Basterà dunque confrontare questa situazione con quella italiana, che vede una popolazione assistita pari a circa sette volte quella totale della Svezia, un sistema sanitario in continua evoluzione, ed una sistematica mancanza di coordinamento tra i diversi enti in gioco, per rendersi conto che, se gli svedesi ipotizzano tempi dell'ordine dei dieci anni, a noi ne occorrerebbero forse il doppio, una buona parte dei quali spesi a riorganizzare il sistema sanitario.

Queste considerazioni hanno dato luogo, in taluni ambiti, alla creazione di sistemi meno globali, cioè riferiti ad aspetti particolari: l'età (sistemi informativi di medicina scolastica, o per il richiamo automatico alle vaccinazioni), la condizione lavorativa

(sistemi di medicina del lavoro), la patologia. A quest'ultimo aspetto si riferisce la creazione di registri come quello dei tumori, finora realizzato in Piemonte ed in corso di realizzazione in Lombardia. Altri esempi sono quelli del registro emodialitici, cioè dei pazienti sottoposti al trattamento del rene artificiale, e del registro diabetici. Nei registri sono riportate le informazioni relative alla patologia specifica, che in generale è una patologia di lungo periodo, via via aggiornate, più alcune altre informazioni che, in una determinata ipotesi di ricerca, si presumono correlate, o correlabili, alla patologia stessa. Ad esempio, nei registri tumori vengono talvolta riportate informazioni relative all'ambiente in cui vive il paziente, e alla sua attività lavorativa, nell'ipotesi, ragionevole ma da verificare con rigore, che esista una correlazione tra questi due elementi e l'insorgenza di certi tipi di tumore. Qui sorgono gli equivoci più grossi sull'utilizzazione, e quindi sull'utilità, dei registri, nel senso che non viene quasi mai precisato se essi devono servire a fine di assistenza o di ricerca eziologica, cioè per cercare di verificare determinate ipotesi sull'origine di certe malattie. Quest'ultima utilizzazione appare dotata di qualche fondamento, ma allora, evidentemente, i registri non devono coprire tutta la popolazione portatrice di una certa patologia, ma solo quella di certe zone, o aree, o fasce, scelte in base alla loro rappresentatività secondo determinati criteri statistici.

Quanto al sistema informativo sanitario regionale, la sua definizione precisa appare difficile, per le diverse funzioni che di volta in volta gli vengono attribuite. Talvolta il termine sta per anagrafe sanitaria regionale articolata su più livelli, come quella cui si è prima accennato, talvolta invece si ipotizza un sistema informativo costituito dall'aggregazione di un certo numero di sistemi informativi parziali, quali appunto quelli relativi alla medicina scolastica, a quella del lavoro, quelli relativi a fasce di popolazione (infanzia, maternità, anziani) più eventualmente alcuni registri. La ragione di questa diffusa confusione terminologica esiste, e non è banale. Essa risiede nel fatto che non si riesce a definire rigorosamente, *a priori*, il ruolo dell'informazione nell'assistenza sanitaria. Questo ruolo può risultare abbastanza evidente quando si vada ad operare in una situazione concreta e si verifichi che certi interventi, rilevati come necessari, non sono fattibili senza una adeguata raccolta di informazioni, a carattere individuale o collettivo. Per esempio, se si vuole attuare un programma di intervento nei confronti del drammatico fenomeno della mortalità perinatale, occorre individuare quali sono i casi che presentano un alto grado di rischio di tale evento, in modo da predisporre per questi casi l'adeguata assistenza lungo l'arco della gravidanza e al momento del parto: ciò comporta la rilevazione di una serie di informazioni relative alle condizioni della gestante e del nascituro, senza le quali qualunque intervento non potrebbe che essere casuale. Questo è dunque un caso in cui la necessità informativa nasce da una necessità operativa. Ma vi sono anche situazioni in cui la relazione tra informazione ed intervento è meno evidente: è questo il caso delle anagrafi sanitarie cui abbiamo prima accennato. Se infatti esse sono finalizzate ad una migliore assistenza, bisogna dire che è molto improbabile, allo stato attuale, arrivare ad individuare un sottoinsieme di informazioni (poiché la totalità delle informazioni genererebbe, come abbiamo già detto, un ingorgo informativo di notevole dimensione) che sia realmente utile in tutte le situazioni, e più improbabile ancora mettere in moto dei meccanismi che consentano che l'informazione necessaria, proprio quella e possibilmente nessun altra, arrivi alla persona giusta al momento giusto. L'evenienza, tante volte citata, di qualcuno che, risiedendo a Milano, sia colpito da infarto a Palermo, e perciò sia sostanzialmente avvantaggiato dalla tempestiva trasmissione a distanza del suo record, contenente informazioni essenziali per il medico che deve attuare su di lui interventi di urgenza, è già stata largamente discussa e ridimensionata negli ambienti che si dedicano a ricerche su questi temi, e comunque è così rara che non giustificherebbe, di per sé, i massicci sforzi richiesti dalla creazione di un sistema anagrafico globale. Si può allora supporre che essa debba prevalentemente servire per scopi di pianificazione dell'attività sanitaria globale, sul piano regionale o nazionale. Ma a questo scopo servirebbero meglio degli strumenti che consentissero di avere un'immagine più sintetica e più globale dello stato di salute di una popolazione, e possibilmente che consentissero di mettere in relazione questo stato con altre variabili, per esempio con quelle caratterizzanti l'ambiente, o l'attività lavorativa, sempre allo scopo di predisporre adeguati interventi correttivi.

Non sarà inutile ricordare che già nel 1967 un ricercatore, Acheson, sosteneva che le informazioni riferite ad un nucleo familiare fossero più significative della semplice sommatoria di quelle individuali. Altre esperienze di aggregazione riguardano, attualmente, il tentativo di definire la nocività dell'ambiente di lavoro, e i suoi riflessi sulla salute, a livello di « gruppo omogeneo » di lavoratori. Domani, in un contesto sanitario meno parcellizzato, si dovrebbe poter definire « immagini sanitarie » — e magari non solo sanitarie — della popolazione di un quartiere, dei bambini di una scuola, dei lavoratori di una fabbrica.

Ricerche di questo genere sono oggi in corso anche in Italia, ed è chiaro che possono utilmente valersi dell'uso del calcolatore, purché sia chiaro l'obbiettivo della ricerca, per evitare di naufragare nel « mare informativo » generato da una massiccia ed acritica raccolta di dati.

9. Il vero problema: la definizione del ruolo dell'informazione

Come accennavamo all'inizio, è in corso un'opera di revisione nel settore dell'informatica sanitaria, revisione motivata dall'aver incontrato, a distanza di dieci

anni, gli stessi problemi e le stesse difficoltà che hanno accompagnato l'introduzione dell'informatica nel settore aziendale. A massicci sforzi, in termini di investimenti e di lavoro, non hanno finora corrisposto pienamente i risultati attesi. La revisione concerne quindi sia i risultati, sia il modo di raggiungerli.

Per quel che riguarda i risultati da conseguire, si assiste ad un graduale abbandono dell'obiettivo dell'« efficienza in sé », consistente nella riduzione della carta circolante e nella disponibilità indiscriminata di una grossa quantità di informazioni, a favore di un obbiettivo più direttamente correlato al miglioramento dell'assistenza; si tratterà dunque di perseguire un affinamento della qualità nella generazione di dati diagnostici, una migliore comunicazione tra componenti diverse dell'assistenza, un più efficace collegamento tra le diverse strutture, sempre con fini operativi. Quanto ai mezzi che possono consentire di raggiungere questi obiettivi, è ormai chiaro che né l'accumulo di una gran mole di dati, né la possibilità di farla circolare velocemente e affidabilmente sono condizioni sufficienti a garantire il raggiungimento degli obbiettivi prima enunciati. Possono essere, e talvolta lo sono marcatamente, condizioni necessarie, ma la condizione realmente indispensabile è la conoscenza e la definizione del ruolo di ogni informazione sanitaria ai fini decisionali, siano essi terapeutici o gestionali.

A questa definizione l'informatica può portare un contributo. Per esempio, l'uso di tecniche statistiche consentirebbe di verificare in maniera continuativa il significato e l'attendibilità dei valori cosidetti « normali », utilizzati come valori di riferimento nelle indagini di laboratorio, così come potrebbero essere utilmente approfonditi, attraverso l'elaborazione di dati, i possibili collegamenti tra risultati analitici, diagnosi e prognosi, nonché l'interazione tra la terapia in atto e i valori analitici. Soltanto dopo una fase di ricerca e di sperimentazione su questi temi si potrebbe definire il reale valore conoscitivo di certe informazioni.

La stessa cosa vale per un tema tra i più dibattuti, quello degli « screenings multifasici ». Anziché passare alla loro automazione su grande scala per fini assistenziali ancora non ben provati, potrebbe essere utile impostare, con l'aiuto del calcolatore, dei programmi di valutazione degli screenings stessi, che diano modo di collegare, in un arco di tempo e su una popolazione definita, il tipo e la quantità di informazioni raccolte agli effettivi interventi terapeutici adottati, ed ai loro risultati, così da definire, in vista di indagini future, il « valore informativo » dei dati singoli o delle loro aggregazioni. Su questa definizione, che oggi impegna in un difficile lavoro interdisciplinare i tecnici, i medici e gli amministratori sanitari, e che deve essere sorretta da una continua sperimentazione e verifica, si fonda pertanto la possibilità di portare attraverso l'informatica, un contributo non marginale al miglioramento dell'assistenza sanitaria.

Bibliografia

[1] M.G. PEDRAZZI, M. MARCHI, F. BOTTASSO, *Indagine sugli elaboratori elettronici negli ospedali italiani,* Applicazioni Biomediche del Calcolo Elettronico, n. 2, aprile 1972.

[2] A. MASERI, A. FERNANDEZ PERENS DE TALENS, C. MARCHESI, G. ANERDI, *Prospettive future dell'analisi automatica dell'elettrocardiogramma,* II Convegno di Bioingegneria, FAST, Milano 1973.

[3] LLOYD and JOHNSON ASSOCIATES, *Clinical Laboratory Computer Systems* (1971).

[4] SAGO: Progetto Quadro per l'automazione sanitaria: il laboratorio di analisi.

[5] J. ANDERSON, J.M. FORSYTE, *Information Processing of Medical Record,* North-Holland Publishing Company, 1970.

[6] J.A. TERRANO, *Medical Information System Feasibility Study,* Minnesota Hospital Service Association, 1970.

[7] MELLNER, H. SELANDER, J. WOLODARSKY, *The Karolinska Hospital Information System,* Methods of Information in Medicine, vol. 13, n. 3, giugno 1974, pp. 125-140.

[8] G.A. MACCACARO, *L'Unità Sanitaria Locale come sistema,* Applicazioni Biomediche del calcolo elettronico, n. 1, gennaio 1972.

[9] F. BOTTASSO, M. MARCHI, *La salute in schede,* Sapere, n. 722, giugno 1974.

[10] SAGO, *Progetto Quadro per l'automazione sanitaria: sintesi dei risultati.*

[11] MEDINFO '74, *Proceedings of First International Congress of Medical Information,* Stockolm, August 1974.

[12] *Automazione, Medicina e Società,* Atti del convegno Honeywell-FIARO, Ospedali d'Italia, n. 5, maggio 1973.

La protezione giuridica del software

CARLO FALCETTI
Honeywell Information Systems Italia
Servizio Brevetti

1. Introduzione

Nella prima parte dell'articolo, pubblicata nel numero precedente di questi quaderni, si è esaminato se il Software possa essere protetto nel quadro della legislazione brevettuale e si è concluso che tale protezione è riconosciuta solo in pochi paesi e si applica comunque solo a quei programmi che godano di particolari requisiti inventivi.
A dispetto dei costi di sviluppo, la maggior parte del software non è quindi protetta dalla legislazione brevettuale.
L'istituto brevettuale non è però l'unico predisposto dal legislatore a tutela delle opere dell'ingegno umano: anche il diritto di autore può essere invocato a tutela dei programmi.
Nella seconda parte dell'articolo, che ora segue, si vedrà appunto se e di quale tutela possono godere i programmi nel quadro del diritto d'autore. Inoltre, è da tenere presente che, costituendo il software un bene commerciabile risultato di una attività aziendale o personale, altre norme di diritto, che disciplinano la concorrenza e i negozi giuridici possono intervenire per assicurare una certa tutela e di queste si farà un breve cenno.

2. Software e diritto di autore

Per chiarire cosa sia il diritto di autore, o « copyright » secondo la terminologia anglosassone, non v'è nulla di meglio che rifarsi ai primi articoli relativi a tale diritto del nostro Codice Civile.

« Art. 2575 - *Oggetto del diritto* - Formano oggetto del diritto di autore le opere dell'ingegno di carattere creativo che appartengono alle scienze, alla letteratura, alla musica, alle arti figurative, alla architettura, al teatro e alla cinematografia, qualunque ne sia il modo e la forma di espressione.

Art. 2576 - *Acquisto del diritto* - Il titolo originario dell'acquisto del diritto di autore è costituito dalla creazione dell'opera, quale particolare espressione del lavoro intellettuale.

Art. 2577 - *Contenuto del diritto* - L'autore ha il diritto esclusivo di pubblicare l'opera e di utilizzarla economicamente in ogni forma e modo, nei limiti e per gli effetti fissati dalla legge.

L'autore, anche dopo la cessione dei diritti previsti dal comma precedente, può rivendicare la paternità dell'opera e può opporsi a qualsiasi deformazione, mutilazione o altra modificazione dell'opera stessa, che possa essere di pregiudizio al suo onore e alla sua reputazione ».
La citazione che precede, limitata ai soli articoli che interessano al nostro scopo, per quanto si riferisca al Codice Civile italiano, può considerarsi rappresentativa delle fondamentali disposizioni di legge che, in quasi tutti i paesi del mondo, tutelano i diritti di autore e mette in evidenza che, anche se storicamente il diritto di autore è nato come privilegio o come diritto di monopolio di natura patrimoniale connesso agli editori e stampatori ([1]), esso, nelle legislazioni moderne, si è esteso a coprire le più svariate categorie di opere intellettuali e a tutelare non solo i diritti, diciamo così patrimoniali o di sfruttamento economico dell'opera (in ogni forma e modo) riconosciuti all'autore (o al suo avente causa), ma anche diritti morali o della personalità dell'autore (rivendicazioni di paternità, opposizione a deformazioni e mutilazioni pregiudiziali).
Vista così l'ampia portata del diritto di autore, che si estende ben al di là del campo della stampa e della letteratura, è stato immediato pensare che in qualche modo il « software », o almeno parte di questo, potesse godere di tutela nell'ambito di tale diritto.
Si è quindi esaminato se esso possiede i requisiti ri-

([1]) Il problema di tutelare legislativamente le opere letterarie è sorto dopo l'invenzione della stampa e Venezia fu la prima, alla fine del XV secolo, a concedere « privilegi » agli stampatori ed editori.

chiesti. È principio stabilito dalla giurisprudenza che il requisito essenziale consiste nel carattere creativo intellettuale individualizzante dell'opera, per cui l'opera stessa si distingue da quelle che l'hanno preceduta per un « quid novi » apportato in modo inconfondibile dall'autore (o dagli autori, nel caso di opere collettive).

Ora, nell'analisi dell'opera dell'ingegno, si suole individuare tre elementi costitutivi essenziali:

1) il soggetto o argomento

2) il contenuto psichico o ideologico o forma interna, ossia la particolare concezione che del soggetto ha l'autore

3) la forma di espressione o forma esterna.

Il « quid novi » apportato dall'autore è sempre necessariamente ma non esclusivamente di carattere formale: non c'è originalità se non c'è forma espressiva o forma esterna nuova, in quanto la forma esterna è il veicolo con cui si manifesta il soggetto ed anche il contenuto psichico.

Pertanto, se la forma esterna non è nuova, non può essere nuovo né il soggetto né il contenuto psichico espresso da tale forma.

Certo, in aggiunta a questo carattere formale di novità, ve ne possono essere altri: un argomento specifico noto può essere trattato con una particolare concezione da parte dell'autore, così come nel caso delle opere di fantasia il soggetto stesso, l'intreccio, può essere nuovo.

Il diritto di autore non richiede però che l'opera sia originale per questi aspetti, ma solo che la forma di espressione sia nuova.

Così, in un trattato scientifico, svolto con distacco matematico, l'argomento può essere noto completamente e il contenuto psichico o ideologico può essere tenuto volontariamente assente (ma già la freddezza obbiettiva dello scienziato si caratterizza come un atteggiamento psichico) e, ciò non ostante, la forma espressiva usata può essere nuova e individualizzante. In tal caso, l'opera è protetta dal diritto di autore nella sua forma, né è necessario per questo che la forma si caratterizzi per il conseguimento di una specifica finalità estetica (eleganza di espressione) o pratica (chiarezza, incisività, sinteticità).

Se ora consideriamo il software, è facile verificare che esso può godere di questo requisito essenziale. Certamente un programma nuovo è creato usando un linguaggio convenzionale e rispettando forme grammaticali e sintattiche di quel linguaggio; certamente il soggetto non si presta a elaborazioni fantastiche ma richiede l'analisi precisa e attenta dei fenomeni che occorre descrivere; certamente l'obbiettivo del programma è generalmente la risoluzione economica (in termine di tempo e risorse hardware) di un problema e non ha alcun fine estetico o culturale puro. Tuttavia l'aspetto di creazione intellettuale sussiste, sia in forma di impegno espressivo di un fenomeno o problema, sia in forma di impegno organizzativo delle informazioni. ([2])

Se la giurisprudenza italiana ha stabilito che il diritto di autore si applica a un dizionario, a un trattato scientifico, a un massimario, anche in assenza di decisioni specifiche relative a programmi, appare fuor di dubbio che un programma rientra legittimamente, da questo punto di vista, nella categoria delle opere dell'ingegno protette dal diritto di autore. Eventualmente si potrebbe mettere in dubbio l'applicabilità del diritto di autore a quei programmi che, per la loro semplicità e immediatezza, non presuppongono per la loro realizzazione un particolare impegno intellettuale e si presentano quindi come il risultato scontato di ovvie procedure e formule rappresentative e possono quindi considerarsi di pubblico dominio, ossia non nuovi.

La distinzione tra programmi protetti e non protetti è però di natura contingente: non può essere categorizzata a priori ma, caso per caso, richiede un giudizio di merito che solo il giudice competente è autorizzato a sancire.

Del resto questo principio è già riconosciuto dalla giurisprudenza italiana per altre classi di opere quali carte geografiche, cataloghi, fogli di istruzioni per l'uso di prodotti e macchine, motivi musicali, nelle quali, caso per caso, è stato o no ravvisato un che di originale e individualizzante.

Un secondo requisito, generalmente invocato per definire l'appartenenza di un'opera a quelle dell'ingegno protette dal diritto di autore, è la sua destinazione a una comunicazione col pubblico in funzione di rappresentazione intellettuale. In altre parole, mentre una macchina, ancorché brevettata e risultato di una attività inventiva, ha per destinazione non di essere conosciuta, ma di essere utilizzata praticamente, un'opera dell'ingegno protetta dal diritto di autore è destinata ad essere conosciuta e utilizzata dal pubblico a livello intellettivo.

Così, un libro è destinato ad essere letto e convoglia con questo un certo patrimonio informativo; un quadro, o una scultura, è destinata ad essere vista e convoglia con questo un certo appagamento estetico, così come una composizione musicale è destinata ad essere ascoltata.

Perché ciò sia possibile, occorre che la forma espressiva sia in qualche modo intelligibile.

Su questo punto si usa muovere ai programmi software due tipi di critiche.

In primo luogo, il programma, nelle forme in cui viene normalmente distribuito e utilizzato, non è affatto intelligibile perché anzitutto usa codici e linguaggio convenzionali e poi perché il mezzo fisico di supporto delle informazioni non è in generale un mezzo intelligibile di comunicazione.

In secondo luogo, si sostiene, il programma non è

([2]) Per apprezzare l'importanza che può avere la semplice organizzazione delle informazioni sullo sviluppo di un programma si pensi al « Data Base ». In proposito si veda l'articolo di E. Raja « Il concetto di database » sul n. 2, 1974, di questi « Quaderni ».

destinato ad essere inteso, ma solo ad essere utilizzato.
Alla prima di queste critiche si usa rispondere che qualsiasi mezzo di comunicazione è convenzionale e che anzi un programma, in quanto usa linguaggi con strutture ben definite e regolari può essere agevolmente interpretato e inteso.
Di fatto, se così non fosse, si stabilirebbe un rapporto esclusivo programmatore-macchina che viene smentito quotidianamente dalla attività di programmazione e revisione fatta a livello di gruppo e cronologicamente da più persone, nonché dagli insegnamenti che ogni programmatore trae dall'esame e dall'analisi di programmi già esistenti.
Poco importa che il programma sia scritto su un foglio di carta in linguaggio evoluto (ALGOL, COBOL, FORTRAN) o codificato in codici alfanumerici, o perforato in linguaggio macchina in una scheda.
Un programmatore esperto riuscirà sempre ad attribuire a quei segni e a quelle perforazioni il loro significato.
Per quanto riguarda altri mezzi fisici di supporto, non intelligibili in modo immediato, come nastri magnetici e simili, è chiaro che, mediante un hardware opportuno, è comunque possibile rendere intelligibile le informazioni ivi contenute, alla stessa stregua che un disco fonografico o un nastro registrato non sono in grado di convogliare alcuna informazione se non sono « riprodotti » dal giradischi o dal registratore.
La seconda obbiezione è più sottile: invero, una volta che un programma è stato scritto, può succedere che più nessuno ne prenda conoscenza e che l'unica forma di impiego si esaurisca nel rapporto programma-macchina.
In sostanza la macchina si sostituisce all'uomo nell'interpretare ed eseguire il programma e viene a mancare la destinazione ad una comunicazione col pubblico.
In questo senso, per esempio, Fabrizio De Benedetti [1] esclude che i programmi possano essere tutelati dal diritto di autore.
Tuttavia si può obbiettare che questa circostanza non priva il programma della sua potenzialità intrinseca di strumento di comunicazione (seppure con la mediazione eventuale di macchine), anzi, è proprio questa potenzialità che si attua quando, per esempio, un programmatore utilizza il contenuto informativo di un programma per elaborare un programma nuovo rivolto ad altri scopi.
Il fatto quindi che la macchina si sostituisca all'uomo nella azione di leggere ed interpretare il programma non svuota lo stesso del suo intrinseco contenuto informativo che è poi l'unica cosa che gli dà significato.
Si può quindi concludere che nessun impedimento sussista nell'includere il software tra le opere dell'ingegno protette dal diritto di autore, sia sulla base della legislazione italiana, sia sulla base delle legislazioni straniere come delle convenzioni internazionali, che tutte concordano nelle linee essenziali.
E in questo senso infatti concordano quasi tutti i commentatori, che in Italia e all'Estero si sono occupati del problema.
Eventuali divergenze e perplessità si hanno, come vedremo, solo in merito alla effettiva efficacia di tale forma di protezione.
Tuttavia non è possibile trovare adeguato supporto a questa posizione da parte di decisioni giurisprudenziali o amministrative perché il diritto di autore nasce con la creazione dell'opera senza richiedere, in generale, l'espletamento di particolari formalità amministrative, né fino ad ora sono stati discussi dalle Corti dei casi di violazione dei diritti di autore relativi a programmi software in cui eventualmente si sia contestata l'applicabilità della legge sul diritto di autore ai programmi.
Uniche eccezioni a quanto sopra sono le seguenti: negli Stati Uniti è prevista la registrazione delle opere letterarie, per cui si rivendica il diritto di autore, presso il Copyright Office. Senza discutere il carattere meramente declaratorio o di prova di tale registrazione, che diventa obbligatoria solo nel caso di specifica richiesta del Copyright Office o in caso di controversia giudiziaria per violazione dei diritti di autore, il Copyright Office accettando da tempo la registrazione di programmi software, anche in forma non immediatamente leggibile (su nastro magnetico), ha sancito, almeno in via amministrativa, che i programmi ricadono sotto la tutela del diritto di autore.
In Finlandia invece, è la magistratura stessa che ha dovuto decidere in merito a una utilizzazione abusiva di un programma software (caso TIETOURA contro BITTI). In primo grado, la Corte ha riconosciuto in ciò una violazione del diritto di autore.
In appello, invece, la Corte ravvisava gli estremi della concorrenza sleale, ma non quelli della violazione dei diritti di autore.
I commentatori ritengono tuttavia che tale sentenza di appello non costituisca un precedente per escludere (in Finlandia) il software dal diritto di autore perché, nel caso specifico, la persona che in pratica aveva copiato il programma e dato luogo all'utilizzazione abusiva era lo stesso autore del programma.

3. Portata e limiti della protezione offerta dal diritto di autore

Il problema di fondo, a ben guardare, nel caso del Copyright, non è tanto se il software rientra tra le opere dell'ingegno, protette dal diritto di autore, ma se la protezione che ne deriva è adeguata.
Anzitutto, a differenza del monopolio brevettuale che impone un divieto assoluto di utilizzazione dell'invenzione protetta, il diritto di autore impone semplicemente un divieto di fare delle copie, ma non proibisce l'impiego del contenuto informativo del programma.
Le conseguenze di questo fatto sono molteplici.
Anzitutto si può ipotizzare il caso di due programmi identici, scritti da due autori diversi l'uno all'insaputa dell'altro, in due momenti diversi. In un caso del genere, se il secondo (in ordine di tempo) autore

mette sul mercato delle copie del suo programma non viola di certo il diritto di autore del primo. Anzi, si potrebbe ritenere che anche il programma del secondo autore venga a godere della tutela del diritto di autore. In questo senso è orientata, per esempio, la giurisprudenza anglosassone.

In un caso del genere è però opinione corrente dei giuristi, almeno in Italia, che nessuno dei due programmi godrebbe della tutela del diritto di autore. Infatti, se si ammette che due autori possano arrivare indipendentemente alla stessa opera, ciò vuole anche dire che l'opera non è dotata di alcun elemento formale individualizzante ma è solo il risultato di un comune patrimonio di idee e di formule espressive. A parere degli esperti di software, questa eventualità è estremamente improbabile: se due programmi sono identici, è legittima la presunzione, salvo prova contraria, che uno sia copiato dall'altro, e che vi sia violazione del diritto di autore.

Viceversa, se due programmi sono simili, risolvono lo stesso problema ed uno è chiaramente derivato dall'altro, nel senso che il flusso logico è sostanzialmente il medesimo ma la forma è diversa, non c'è violazione del diritto di autore.

Il diritto di autore non protegge infatti (come il brevetto) l'idea ma la forma con cui l'idea viene comunicata agli altri.

Quindi una volta che un programma è stato distribuito al pubblico, se ne può vietare la riproduzione abusiva, ma al tempo stesso si mette a disposizione del pubblico il suo patrimonio informativo. Su questa base si può ritenere che la protezione accordata dal diritto di autore sia alquanto limitata. Tuttavia se si pensa che il costo rilevante di sviluppo di un programma è prevalentemente nella formalizzazione di una idea di soluzione e nella correzione (« debugging ») di tale formalizzazione, si può concludere che tale protezione non è affatto trascurabile e, seppure non premia l'inventività quando vi sia, almeno salvaguardia l'onere, non indifferente, di estrinsecazione del programma.

Né questa tutela è limitata ai programmi nella particolare forma o supporto originale: anche la traduzione di un programma da un linguaggio ad un altro, o la sua duplicazione su un supporto materiale diverso, costituiscono, sempre per analogia con quanto è riconosciuto per le altre opere dell'ingegno, una riproduzione dell'opera originaria e quindi ricadono nella tutela accordata dal diritto di autore.

Anzi, a questo proposito, alcuni esperti [2] ritengono che la registrazione, anche parziale, di un programma nella memoria di lavoro di un calcolatore per la sua esecuzione, costituisca una riproduzione del programma e, quindi, quando non vi sia contrattualmente una autorizzazione in questo senso, anche la sua utilizzazione può configurarsi come una violazione del diritto di autore.

Se si accetta questa tesi attraente, la portata della protezione accordata dal diritto di autore diventa molto ampia e trascende i limiti, normalmente riconosciuti, per le opere dell'ingegno.

Per esempio, la nostra legge ammette (Art. 159) che chi è venuto in possesso, in buona fede, di un esemplare costituente una contraffazione e ne fa uso personale possa continuare a goderne.

Ma nel caso dei programmi, anche l'uso personale su un calcolatore, comporterebbe una riproduzione e dunque una ulteriore contraffazione e potrebbe quindi essere proibito.

C'è però qualche difficoltà ad accettare questa tesi. È principio pacifico e riconosciuto dalla legge e dalla giurisprudenza che un'opera protetta dal diritto di autore può essere oggetto di utilizzazione libera ossia di riproduzione, quando tale riproduzione sia fatta ad uso personale e con mezzi non idonei alla diffusione nel pubblico. Con tale principio si intende riconoscere in sostanza che quando una copia non è fatta né si presta a un fine di lucro che possa danneggiare in modo sostanziale l'interesse economico dell'autore, la riproduzione non viola alcun diritto. È evidente che la registrazione in memoria di calcolatore di un programma, al solo scopo di eseguirlo e quindi di usare un'opera di cui si è venuti legittimamente in possesso, non intende con questo sostituirsi sul mercato all'opera protetta (anche se in via astratta è concepibile il passaggio da una memoria di calcolatore ad un'altra), cioè ipso facto non si pone in concorrenza come prodotto all'opera protetta. Su questa base, appare inverosimile che la tesi che ravvisa una violazione del diritto d'autore, anche solo nell'impiego dell'opera in un calcolatore, possa trovare una conferma giurisprudenziale, anche perché altrimenti verrebbe riconosciuto di fatto un monopolio sostanziale sull'utilizzazione pratica del contenuto informativo dell'opera che è ben lontano dallo spirito informativo della legge sul diritto di autore.

Per quanto riguarda l'estensione territoriale accordata dal diritto di autore, non vi sono invece problemi: come già accennato, la sostanziale uniformità delle diverse legislazioni nazionali e l'esistenza di convenzioni internazionali, a cui praticamente aderiscono tutte le nazioni del mondo, fanno sì che il diritto di autore possa essere fatto valere senza eccezioni geografiche e ciò, inoltre, senza l'adempimento di particolari e onerose formalità, salvo, eventualmente, l'applicazione sulle copie di una nota di riserva dei diritti di autore, come richiesto nell'ambito della Convenzione Universale sul Diritto di Autore.

4. I diritti connessi

Una forma di protezione specifica, che può applicarsi con una certa efficacia ai programmi, può essere individuata negli articoli della legge italiana sul diritto di autore che trattano dei diritti connessi.

Infatti, la nostra legge, al pari di quella di altri paesi, tenendo presente l'affermarsi di nuovi mezzi di comunicazione e riproduzione, diversi dalla stampa, quali il cinematografo, la radio, la televisione, la fotografia, la registrazione magnetica e fonografica, ha inteso assicurare adeguata protezione anche a chi opera come

produttore o artista, interprete, esecutore in questo campo.
In particolare ha inteso proteggere in qualche modo l'attività creativa, anche se non inventiva, di tipo tecnico. L'art. 99 della legge sul diritto di autore, prevede infatti che « All'autore di progetti di lavori di ingegneria, o di altri lavori analoghi, che costituiscano soluzioni originali di problemi tecnici, compete, oltre al diritto esclusivo di riproduzione dei piani e dei disegni dei progetti medesimi, il diritto a un equo compenso a carico di coloro che realizzano il progetto tecnico a scopo di lucro senza il suo consenso ».
Prescindendo dalle formalità da compiere (dichiarazione di riserva e deposito dei piani presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri), è evidente che tale norma sancisce il diritto, non solo di una tutela dei disegni e dei documenti in quanto tali, ma anche del contenuto informativo, purché abbia il requisito della novità. La tutela, naturalmente, non è di tipo monopolitistico, come nel caso del brevetto, poiché non proibisce l'uso del contenuto informativo; riconosce però, nel caso di un uso non autorizzato, l'obbligo di corrispondere un equo compenso all'autore.
L'applicabilità ai programmi di tale norma della legge italiana sul diritto d'autore è suggerita, per esempio, da Gino Galtieri [3].
Certamente, la protezione accordata in questo caso è considerevole, ma, sfortunatamente, questa forma di protezione non rientra, attualmente, nell'ambito dei diritti connessi riconosciuti dalle legislazioni straniere e dalle convenzioni internazionali, e pertanto, dal punto di vista territoriale, può considerarsi limitata all'Italia.

5. Altre forme di protezione

In vista della prevalente tendenza giurisprudenziale che nega la brevettabilità dei programmi, e per la modesta protezione accordata dal diritto di autore, che in linea di massima si ritiene non protegga dalla utilizzazione abusiva dei programmi, ma solo dalla riproduzione abusiva, si è proposto da tempo la definizione di forme di protezione ad hoc per il software.
In sostanza, tali forme di protezione [4] dovrebbero riconoscere, almeno per i programmi di elevata originalità, la tutela del contenuto informativo e dell'aspetto formale contro qualsiasi riproduzione, trascrizione, rimaneggiamento, nonché impiego (anche in calcolatore) o trasferimento di proprietà, che non siano debitamente autorizzati.
Inoltre, tali forme di protezione dovrebbero richiedere l'adempimento di limitatissime e non onerose formalità contrapposte, per esempio, alle costose procedure di deposito e concessione di domande di brevetto, in modo da essere universalmente attuabili ed economicamente convenienti.
Tuttavia, fino ad oggi, tali proposte non hanno avuto alcun seguito, salvo che in Giappone dove un Comitato istituito dal Ministero dell'Industria e Commercio (MITI) ha raccomandato un sistema di registrazione per la protezione dei programmi, peraltro non ancora esecutivo.
Restando nel campo delle norme di diritto attualmente in vigore, è opportuno ricordare che, accanto al diritto di autore e alla legge sui brevetti, le diverse legislazioni pongono altri strumenti la cui efficacia non va sottovalutata.
In molti paesi, le norme sulla concorrenza sleale ravvisano nella attività di imitazione servile una violazione perseguibile, indipendentemente dal fatto che ciò crei una confusione nel pubblico tra imprese concorrenziali. Essenziale cioè è il riconoscimento del danno, comunque causato.
Per la legislazione italiana invece, è prevalente il concetto che il danno sia condizionato alla confusione ingenerata nel pubblico cioè nella clientela. Nel caso di programmi, visto il livello qualificato di produttori e utenti, questo aspetto può essere escluso a priori ed è quindi inverosimile che la legislazione italiana, in questo senso, possa provvedere una qualche protezione.
Altre norme di cui ci si può valere, sono quelle contrattuali. In questo caso le diverse legislazioni concordano.
Contrattualmente è possibile obbligare l'utente di un programma a rispettare determinate condizioni: per esempio di non fare copie, non trasferire, non divulgare a terzi il contenuto di un programma, limitando con ciò la possibilità che terzi possano trarre, in qualche modo, indebito profitto dal programma stesso.
Tuttavia questa forma di protezione contrattuale è efficace solo tra le parti, e una volta che, per qualsiasi ragione, si sia perduto il controllo sulla circolazione e diffusione di un programma, non è più possibile, in generale, far valere dei diritti su di questo nei confronti di terzi, siano questi obbligati contrattualmente o no.
Gli stessi limiti presenta sostanzialmente la protezione accordata dal cosidetto « Trade Secret ».
Se infatti il programma è distribuito agli utilizzatori come informazione destinata a rimanere segreta, è perseguibile qualsiasi violazione di tale segretezza, ma una volta che il programma sia caduto in dominio pubblico non è più possibile perseguire chi, in buona fede, ne faccia un qualsiasi uso.

6. Conclusioni

Quanto precede mette in evidenza con una panoramica necessariamente succinta (per esempio non si è discussa la cumulabilità o incompatibilità delle diverse forme di protezione fra loro) che la protezione giuridica del software può essere attuata in diversi modi.
La tutela accordata dai diversi strumenti giuridici è però difforme e sostanzialmente diversa da quella riconosciuta dall'istituto brevettuale, il quale a sua volta è riconosciuto, per orientamento prevalente della giurisprudenza, o per norme esplicite in alcuni paesi, come non applicabile al software.

Pertanto il problema di fondo rimane se una protezione del tipo di quella accordata dal diritto di autore, o dalle norme che proteggono il segreto, o da quelle che disciplinano i rapporti contrattuali e la concorrenza, devono considerarsi adeguate oppure no. E qui il parere soggettivo può essere discorde, secondo gli interessi che ciascuno vorrebbe specificatamente tutelati.

Obiettivamente si può però riconoscere che, se la protezione deve assicurare un monopolio sul prodotto, tale monopolio non è affatto assicurato, o assicurato solo in parte e in modo territorialmente limitato.

Se viceversa si ammette che lo scopo della protezione sia quello di prevenire il danno economico derivante dalle duplicazioni e dallo smercio o dall'impiego abusivo dei programmi, la legislazione sul diritto di autore fornisce tale forma di protezione, che viene a esssere ulteriormente rafforzata da altre norme del diritto.

Naturalmente, l'efficacia delle leggi è sempre condizionata dalla maturità e responsabilità morale delle persone che tali leggi devono rispettare, né la sanzione prevista nel caso di violazione può costituire un deterrente assoluto.

7. Bibliografia

[1] FABRIZIO DE BENEDETTI, *I programmi dei calcolatori: sono essi proteggibili?*, in « Rivista della Proprietà Industriale e della Concorrenza », nn. 1-2 (gennaio-marzo; aprile-giugno), 1968.

[2] K. KATONA, *Legal Protection of Computer Programs,* in « Journal of the Patent Office Society », n. 12, 1961.

[3] GINO GALTIERI, *The protection of Computer Programs under the Italian Legal System,* in « Copyright », Nov. 1972, pp. 227-228.

[4] Tra i primi fautori e promotori di forme di protezione ad hoc, fin dal 1969, si deve citare, per dovere di cronaca, EMER GALBI (della IBM): *Proposal for New Legislation to Protect Computer Programming,* « 17 Bulletin of Copyright Society of the USA », 280 (1970).

Gli elaboratori elettronici nelle università italiane

FULVIA SALA
Honeywell Information Systems Italia
Direzione Centrale Marketing

1. Introduzione

Le informazioni seguenti sono tratte da una indagine realizzata presso tutte le Università italiane (escludendo le Cliniche Universitarie), grazie alla collaborazione dei responsabili EDP, dei presidi di facoltà e/o dei direttori dei singoli istituti; le analisi condotte fanno riferimento alla situazione Dicembre 1973.

2. Stato della meccanizzazione

L'uso di strumenti automatici d'elaborazione, nelle Università italiane, risponde a due necessità:

1) Agevolare la risoluzione di problemi di gestione.

2) Disporre di uno strumento di supporto all'attività scientifica/didattica.

Sono attualmente installati 50 elaboratori e 145 terminali per una spesa mensile effettiva (che tiene conto cioè degli sconti, anche rilevanti, praticati dalle case costruttrici alle università) di circa 495 mila punti (1), di cui 299 mila riguardano elaborazioni a carattere scientifico/didattico, 196 mila l'automazione dei servizi amministrativi. È necessario, in quanto vi fanno riscontro differenti situazioni di meccanizzazione, considerare i sistemi per l'elaborazione dati suddivisi in quattro categorie in base alla diversa articolazione del loro utilizzo:

a) Sistemi usati unicamente per l'automazione dei servizi amministrativi

b) Elaboratori/terminali a disposizione di tutte le facoltà per la ricerca scientifica

c) Sistemi utilizzati sia per la funzione a) che per la b)

d) Sistemi a disposizione del singolo istituto o di una facoltà per fini scientifici/didattici.

I vari centri EDP hanno una diversa collocazione nella struttura universitaria: quelli a carattere unicamente amministrativo sono uffici della Direzione Amministrativa; i centri scientifici interfacoltà, anche con funzioni amministrative, sono equiparati a istituti (senza cattedra) con bilancio autonomo; i centri, infine, facenti capo ai singoli istituti gravano sul bilancio di questi o delle rispettive facoltà.

Differenze si hanno anche nei vari casi per quanto riguarda la configurazione dei sistemi installati e il personale impiegato. Di piccole dimensioni sono gli elaboratori utilizzati presso i singoli istituti, dove è anche diffuso l'uso di un terminale come unico strumento di elaborazione. Nella quasi totalità dei casi non esiste, inoltre, personale che sia addetto unicamente al funzionamento del centro; la stesura dei programmi e le varie mansioni esecutive connesse all'impiego del sistema sono sostenute direttamente dagli stessi docenti e ricercatori. Di dimensioni medio/grandi (il 60% dei sistemi ha una capacità di memoria superiore ai 128 K) sono invece gli elaboratori ad uso amministrativo o amministrativo/scientifico.

In questi centri la composizione della staff EDP è particolarmente consistente: il 40% dispone di un numero complessivo di addetti superiore a 20 e, in un altro 40% dei casi, il numero di personale qualificato (analisti/programmatori) è superiore alla decina.

Diversa, in relazione al tipo d'utilizzo, è la « anzianità » del parco elaboratori; i sistemi su cui vengono svolte procedure di tipo amministrativo presentano una configurazione tecnica piuttosto recente (per 18 sistemi su un totale di 21 essa non è anteriore al 1970) mentre il 35% degli elaboratori ad uso scientifico ha oltre 4 anni.

Se una delle cause è da individuarsi nel recente approccio all'automazione di procedure di gestione (che può farsi risalire a 5 anni fa) è anche vero che il settore amministrativo si caratterizza, nei confronti di quello scientifico, per un dinamismo più accentuato (età media di installazione: 2 anni).

Uno dei fattori, a nostro avviso non vincolante, che

(1) 1 Punto = 700 Lire di canone mensile.

può aver contribuito a frenare il rinnovamento tecnico, in campo scientifico, è l'alto numero di elaboratori acquistati (34% del numero complessivo di sistemi).

Va di contro sottolineato l'incremento notevole che ha registrato l'uso di terminali installati a fine scientifico/didattico negli ultimi 5 anni (si è passati dai 5 installati nel 1969 ai 96 attuali); incremento che è attribuibile, in misura rilevante, alla fondazione del CINECA (Consorzio dell'Italia Nord-Est per il Calcolo Automatico), con sede a Casalecchio, e alla presenza del CNUCE (Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico), con sede a Pisa, diventato nel 1973 centro di calcolo del CNR. Il CINECA è sovvenzionato dal Ministero della Pubblica Istruzione, che segue una politica d'appoggio ai consorzi interuniversitari, con una cifra risultata pari, nel 1973, a 800 milioni; ad ogni università consorziata viene praticamente pagato l'affitto di un terminale, da collegare a Casalecchio, mentre a carico di questa rimane il tempo di connessione. Il CNUCE segue invece una politica diversa: i terminali dovrebbero essere affittati dal CNUCE ai soli utenti di Pisa; in effetti si sono trovate agevolazioni anche per altri centri.

Passando ad esaminare brevemente il livello d'automazione nelle varie facoltà, Scienze ed Ingegneria sono quelle in cui è più diffuso, in termini assoluti, l'uso di strumenti automatici d'elaborazione; la spesa mensile effettiva EDP è di 16 mila punti per Scienze (il 23% di quello che è speso per la ricerca didattica dalle varie facoltà) e di 25 mila punti per Ingegneria (44%). In termini relativi, va rilevata una discreta propensione all'uso di sistemi EDP per la facoltà di economia/commercio, dove la dinamica di crescita del parco nell'ultimo anno è risultata particolarmente accentuata (da 3 sistemi installati nel 1972 ai 10 attuali).

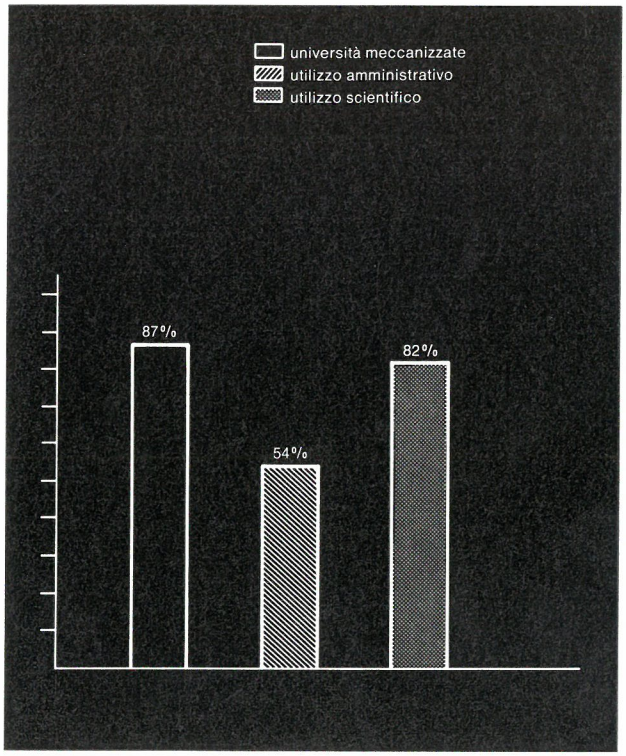


Fig. 1 - Università meccanizzate (dati percentuali).

3. Aree applicative

In campo scientifico, nelle facoltà in cui maggiore è la diffusione di sistemi automatici d'elaborazione, Scienze e Ingegneria, questi vengono utilizzati, nella maggioranza dei casi, per la risoluzione di problemi numerico-statistici, per uso didattico (tesi, esercitazioni relative a vari corsi istituzionali) e per collegamento on-line di apparecchiature di laboratorio a calcolatori di processo. In particolare gli istituti di fisica sono quelli in cui è più diffusa l'installazione di calcolatori di processo come unico strumento d'automazione. Problemi di simulazione, « business game » sono applicazioni riscontrabili in diverse facoltà di economia-commercio; non bisogna trascurare l'uso che viene fatto, anche in queste facoltà, dell'elaboratore come strumento di calcolo per ricerche di tipo statistico e che, inoltre, un 20% del tempo è media-

Fig. 2 - Numero di elaboratori/terminali e spesa media per articolazione d'utilizzo

1 = Numero
2 = Spesa media (in migliaia di punti)

Descrizione	Utilizzo Solo amministr.		Amm./scient.		Scient. Interfac.		c/o Istituti	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Elaboratori	9	11.8	10	13.3	12	10.2	19	2.0
Terminali	49	0.4	2	9.1	17	1.5	77	0.4
Totale	58	2.2	12	12.6	29	5.0	96	0.7

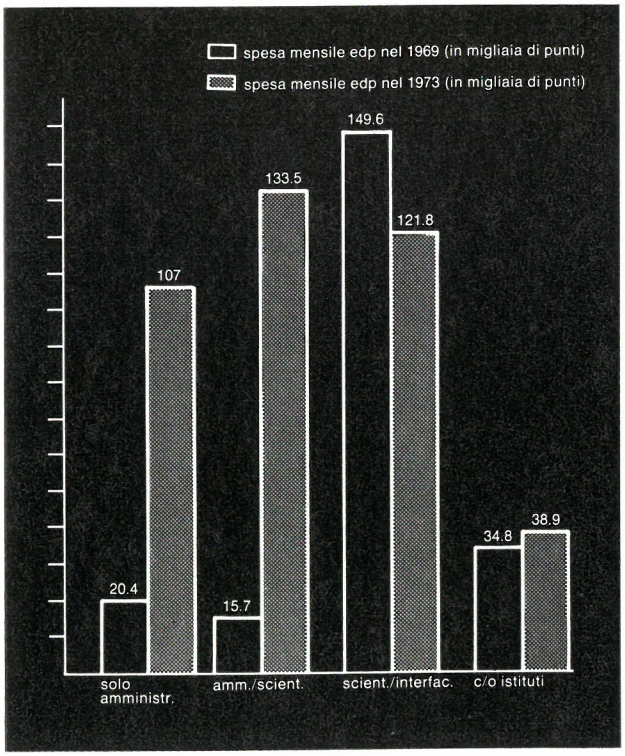


Fig. 3 - Dinamica della spesa EDP per articolazione di utilizzo.

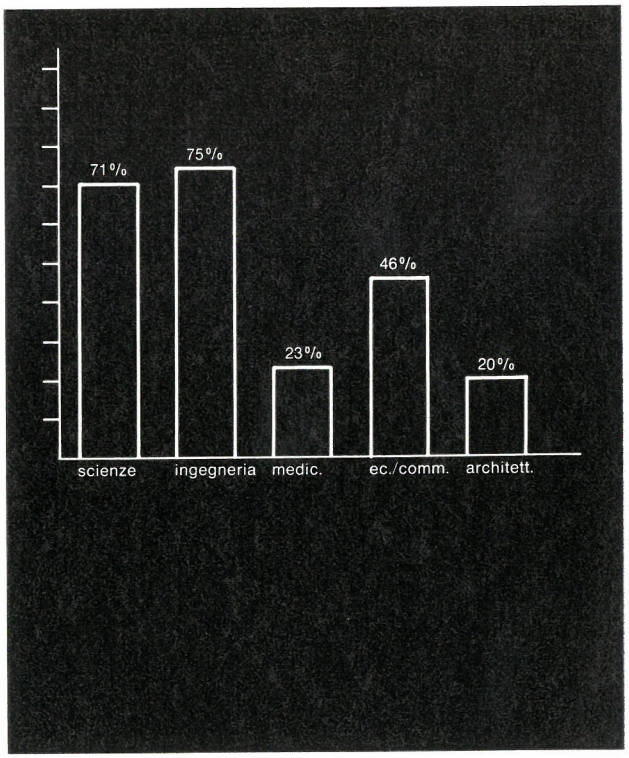


Fig. 4 - Numero facoltà meccanizzate/numero totale facoltà.

mente dedicato alla didattica. In campo medico l'elaboratore è utilizzato prevalentemente come archivio in cui inserire dati relativi a pazienti, sintomi di malattie ,ecc.; nei casi in cui vengano eseguiti calcoli, questi sono di tipo statistico o legati a metodi di ricerca operativa. Restringendo l'attenzione a Scienze e Ingegneria si rileva che diversa è la ripartizione del tempo macchina fra calcolo automatico e didattica; a quest'ultima è infatti dedicato, nella facoltà di Scienze, il 75% del tempo, contro il 23% di Ingegneria. In questa facoltà l'uso di elaboratori e terminali è diffuso soprattutto negli istituti di Scienze delle Costruzioni e di Idraulica ed è connesso principalmente alla soluzione numerica di problemi legati al calcolo delle strutture.

Nella facoltà di Scienze gli istituti di fisica e di matematica sono i soli che ricorrano in modo sistematico a sistemi automatici d'elaborazione; meno frequente è l'utilizzo da parte dei chimici, praticamente inesistente presso i biologhi. Diversamente articolato è l'uso dell'elaboratore per i fisici ed i matematici: quest'ultimi dedicano infatti un 70% del tempo macchina alla didattica mentre, presso i fisici, il 95% del tempo è impiegato per calcoli automatici finalizzati, prevalentemente alla soluzione di problemi statistici legati alla fisica delle particelle.

Praticamente inesistente è, a livello nazionale, indipendentemente dal tipo di facoltà, l'uso di sistemi d'elaborazione per la « istruzione programmata »; solo in un paio di centri si sta infatti studiando qualcosa al riguardo, mentre in altri 3 centri l'istruzione programmata è in fase di progetto.

In campo amministrativo, l'esigenza di automazione sembra essere stata avvertita, principalmente, per agevolare la risoluzione di problemi inerenti al servizio segreteria. Tutte le 21 Università in esame, con un'unica eccezione, hanno infatti realizzato, in misura più o meno grande, procedure di questo tipo. Molto diffusa è anche la gestione automatica degli stipendi mentre solo 9 Università hanno meccanizzato procedure di bilancio (ed il fenomeno non è del tutto giustificabile con la dimensione dei sistemi installati o l'anzianità di installazione). Tranne qualche eccezione, il grado di sofisticazione delle procedure realizzate è piuttosto modesto; molto limitata, anche in relazione alle dimensioni medio-grandi dei sistemi installati è l'adozione del tele-processing, che pure rappresenta la soluzione ottimale per regolare il flusso di informazione tra centro e uffici periferici. Limiti allo sviluppo del sistema informativo possono derivare dalla carenza di personale specializzato nel trattamento automatico delle informazioni, aggravata dalla lentezza burocratica delle nostre università nell'inserire in carriere di ruolo nuovo personale; in diverse sedi la responsabilità dell'automazione di procedure di gestione è affidata a persone già impiegate negli uffici amministrativi e avviate alla conoscenza del calcolatore mediante corsi tenuti presso le case costruttrici; in parecchi centri scientifici lavorano studenti i quali, più che ottimizzare la funzionalità del centro, ne traggono giovamento per la loro formazione professionale. Un grosso problema dei centri di calcolo universitari è inoltre la difficoltà a stabilizzare il personale; le cause della mobilità sono individuabili, principalmente, nelle scarse prospettive economiche che offre l'impiego nell'Università; i dati rilevati sul personale di 34 centri (su un totale di 39) hanno mostrato che il 53% è personale statale (pre-

sente, prevalentemente, nei centri a carattere amministrativo), il 34% è alle dirette dipendenze dell'Università e il 13% viene pagato dal centro.

4. Analisi e proiezione della domanda

I dati raccolti sono stati analizzati al fine di quantificare la dipendenza fra la spesa per l'automazione ed alcune variabili, non qualitative, che si presentano, in prima approssimazione, come condizionanti il livello di spesa. Le variabili da considerare sono diverse nel caso si esamini la spesa relativa alla gestione amministrativa o la spesa con finalità scientifiche; la prima, infatti, è completamente a carico dell'Università e, fra i fattori che possono incidere sul livello spesa, sono facilmente individuabili aspetti finanziari propri delle singole Università. La spesa per la ricerca scientifica può essere anche condizionata da causali come: i contributi per la ricerca (assegnati dal Ministero della Pubblica Istruzione) gli stanziamenti da parte di enti pubblici, le sovvenzioni del CNR e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; non va poi trascurato che molti centri interfacoltà funzionano da centri servizi e sono dotati di bilancio autonomo. Su questi dati non è stata possibile una rilevazione organica; del resto il loro carattere, a nostro avviso casuale, renderebbe poco significativi i risultati raggiunti.

Le analisi sono state quindi condotte separatamente per i due tipi di utilizzo; per l'aspetto scientifico si è misurata la correlazione esistente fra il livello di spesa e il numero di iscritti a facoltà scientifiche; per l'aspetto amministrativo si sono invece considerate, quali variabili condizionanti il livello di meccanizzazione: il numero totale di iscritti (a misura dell'esigenza di automazione), il tempo e alcuni dati di bilancio (come indicatori delle possibilità finanziarie).

Occorre dire che si sono potuti avere i dati relativi agli aspetti economici solo per 6 università, non essendo stato possibile reperire le informazioni mancanti né presso i direttori amministrativi, né sulla Gazzetta Ufficiale, pur trattandosi di bilanci pubblici.

Le analisi condotte hanno messo in evidenza che il numero di iscritti a facoltà scientifiche non sembra condizionare, in misura rilevante, la spesa per la ricerca/didattica. In parecchie sedi, in effetti, lo studio in discipline che comportano l'utilizzo dell'elaboratore ha ancora un ruolo subordinato rispetto a discipline di carattere tradizionale; questo si riflette anche sulla ripartizione dei contributi per la ricerca per altro attualmente ridotti in alcune voci (contributi CNR).

Un altro fattore che influisce sul livello di spesa è la diffusione di consorzi interuniversitari e l'appoggio, a questa politica, del MPI; il fatto, infine, che l'esigenza latente d'automazione non si traduca in domanda sistematica, che l'installazione e l'ampliamento di un centro scientifico possa essere fortemente condizionata dalla intraprendenza di gruppi di persone facenti capo alla sede in esame, riflette una situazione ancora « immatura » di mercato.

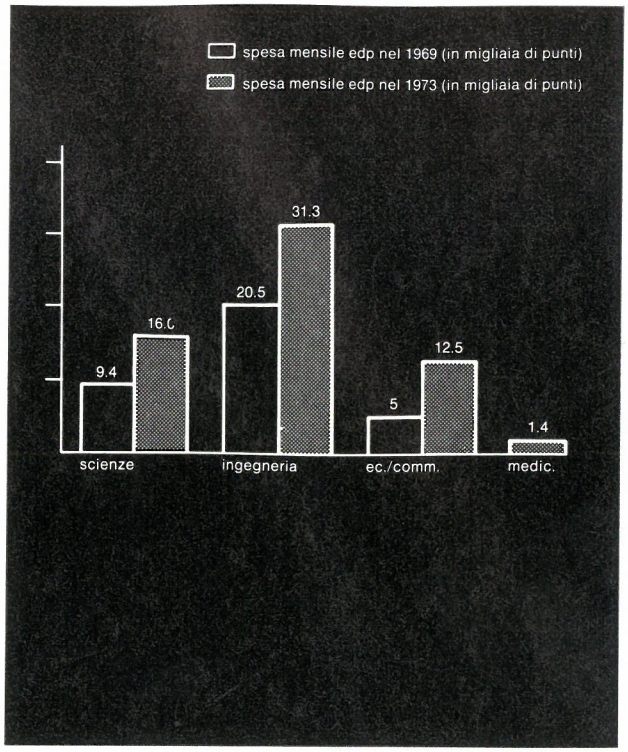


Fig. 5 - Dinamica di crescita della spesa EDP per facoltà.

Per ciò che riguarda il settore amministrativo, il livello di meccanizzazione non sembra essere completamente spiegabile sulla base di obiettive esigenze di utilizzo di strumenti automatici; il fenomeno va probabilmente ricollegato al fatto che l'automazione di procedure amministrative è un processo sviluppatosi molto di recente. Non va inoltre sottovalutato che lo stato della meccanizzazione è, di fatto, rallentato da procedure burocratiche e da una inerzia ad un riadattamento delle mansioni, e ad un conseguente decentramento burocratico, che si manifesta in una latente ostilità all'introduzione dell'elaboratore.

Nessun fattore è dunque emerso come antecedente causale di grande rilievo al fine del processo decisionale in sede EDP; la proiezione della domanda è stata quindi ipotizzata mediante modelli che considerano il « trend » storico dei dati in esame, verificando poi le stime ottenute con modelli interpretativi di tipo elementare e con considerazioni qualitative; le ipotesi di crescita formulate sono le seguenti:

Spesa per l'automazione dei servizi amministrativi:	205 mila punti (fine 1974)
	305 mila punti (fine 1975)
Spesa per la ricerca/didat.:	338 mila punti (fine 1974)
	365 mila punti (fine 1975)

NOTA. Il materiale di questo articolo è stato tratto da uno studio effettuato dal Servizio Studi e Programmazione Marketing della Honeywell Information Systems Italia (L. ARDISSONE, F. SALA, *L'elaborazione dati nelle Università italiane,* maggio 1974), cui si rimanda per ulteriori dettagli.

Resoconti e recensioni

Hanno collaborato a questa rubrica:
V. DI NUNNO, N. MINNAJA, M. NOBILE,
G. RAPELLI

Giornata di studio su « I microelaboratori »

Milano, 18 novembre 1974. Organizzata dalla A.E.I. (Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana) e dall'A.N.I.P.L.A. (Associazione Nazionale Italiana per l'Automazione).

Scopo di questo seminario, che ha raccolto un folto uditorio, era di informare i tecnici e i progettisti italiani sulle possibilità di impiego dei dispositivi integrati noti col nome di « microelaboratori » (in inglese « microprocessor »).

Nella relazione introduttiva, tenuta dal prof. Minnaja della Honeywell Information Systems Italia, il microelaboratore è stato definito in tutta generalità come costituito da una rete combinatoria, capace di eseguire certe funzioni logiche ed aritmetiche, e da un certo numero di registri. Le operazioni logiche ed aritmetiche e la gestione dei registri sono determinate da codici di funzione che vengono presentati agli ingressi, opportunamente sincronizzati con una temporizzazione. Da questa definizione consegue che il microelaboratore richiede, per il suo funzionamento, un programma che dovrà essere registrato in una memoria (preferibilmente di sola lettura), una memoria di lavoro (nel caso che i suoi registri interni non bastino per tutte le informazioni da usare durante l'esecuzione del programma) ed interfacce col resto della circuiteria. Inoltre dovrà essere compreso nel microelaboratore un registro particolare, il contatore del programma, la cui gestione permette l'esecuzione dei salti condizionati. La struttura tipica di questo complesso di componenti, che spesso viene offerto dai costruttori in forma di « scatola di montaggio » (« kit ») è indicata in fig. 1: sono in evidenza le piste (« buss ») per gli indirizzi delle memorie e per i dati da scambiare fra il microelaboratore e gli altri componenti. È stato messo in risalto il fatto che i problemi di progettazione sono trasferiti in gran parte dal vero e proprio « hardware » alla stesura dei microprogrammi e quindi al « firmware », mentre nascono nuovi problemi collegati col controllo di componenti così complessi.

Alla relazione introduttiva hanno fatto seguito due comunicazioni che avevano lo scopo di presentare il punto di vista dei costruttori di circuiti integrati: Stevenson, della Rockwell International, si è soffermato sugli aspetti « hardware » dei microelaboratori, mentre Mazor, della Intel, si è diffuso sui sussidi di tipo « software » che i costruttori mettono a disposizione degli utenti per una più facile stesura e un più facile controllo dei microprogrammi.

Il punto di vista degli utilizzatori italiani è stato esposto sotto varie angolature da quattro relatori: il prof. Brofferio, del Politecnico di Milano, si è soffermato sui criteri che possono aiutare nella scelta di un microelaboratore per un particolare progetto, toccando un tasto di notevole interesse in questo periodo in cui ancora non si vede la possibilità di stan-

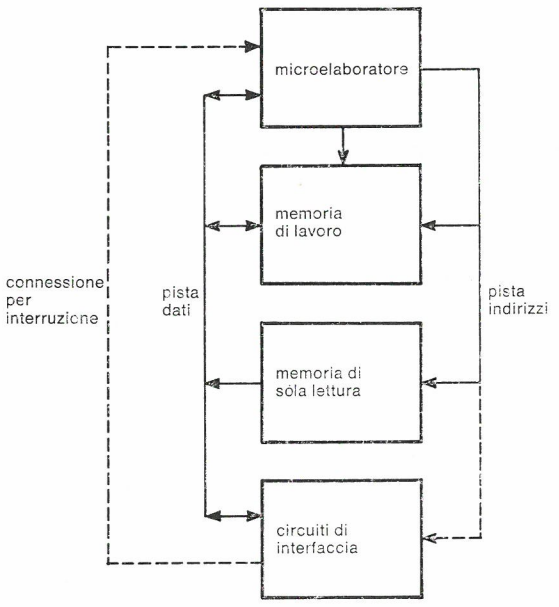


Fig. 1 - Microelaboratore e dispositivi integrati associati.

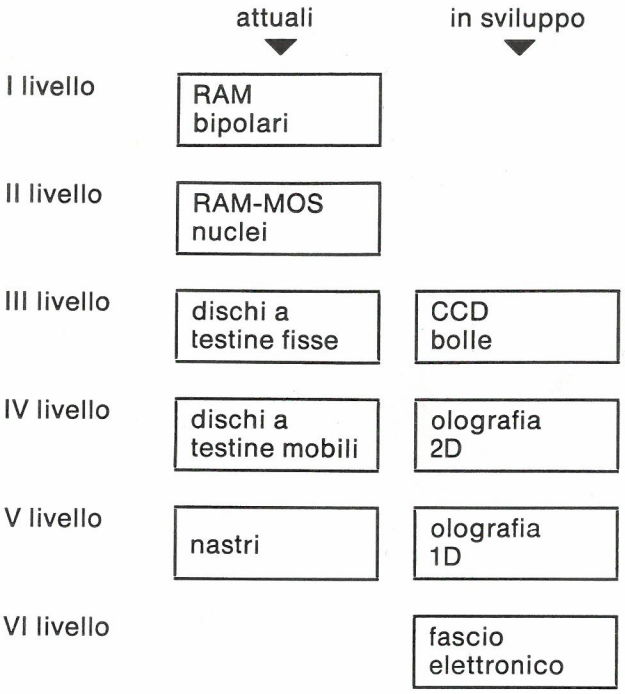
dardizzazione di uno o pochi tipi, almeno dal punto di vista della compatibilità funzionale; l'ing. Subrizi, della Olivetti, ha illustrato i concetti che sono stati alla base della progettazione di un microelaboratore « su commissione » (« custom »), da usare in un sistema contabile; l'ing. Pinto, della Honeywell Information Systems Italia, ha fatto una panoramica sulle tecniche « hardware » che si possono usare per la messa a punto dei microprogrammi e sui problemi che si incontrano, facendo riferimento specifico ad un'apparecchiatura in corso di progettazione presso i laboratori di Pregnana Milanese; infine, l'ing. Inguaggiato, della Montedel, ha messo in evidenza le possibilità d'impiego dei microelaboratori nella strumentazione scientifica.
Gli atti del Convegno saranno pubblicati nel numero di maggio 1975 della rivista « Alta Frequenza ».
N.M.

Giornata di studio su: « Nuove tecnologie per memorie di massa »

Milano, 25 ottobre 1974. Organizzata dal Capitolo Italiano della ACM (Association for Computing Machinery) presso il Politecnico di Milano.

Il tema proposto è stato affrontato sia dal punto di vista strettamente tecnologico, sia da quello delle possibili ripercussioni sull'architettura dei sistemi. Il ruolo delle diverse tecnologie per memorie di massa è apparso piuttosto ben definito; così come si è trovato un sostanziale accordo sulla suddivisione in gerarchie funzionali indicata nella tabella I.
Nel seminario si è parlato diffusamente delle memorie a semiconduttori a trasferimento di carica (CCD = charge coupled devices) e delle memorie a bolle magnetiche che, per la loro caratteristica di permettere un accesso casuale a blocchi e seriale entro un blocco, si presentano come competitori dei dischi a testine fisse.
Ampio spazio è stato dedicato anche a sistemi di memorie olografiche che per la loro alta capacità

Tabella I - Ruolo delle diverse tecnologie nelle gerarchie di memoria.



vengono a competere con i sistemi a dischi a testine mobili. Invece quasi ignorate sono state le memorie a fascio elettronico che poco tempo fa sembravano assai promettenti; in realtà i problemi tecnologici non risolti sono ancora molti e non si pensa che simili sottosistemi siano realizzabili industrialmente nel prossimo decennio.
Nella prima relazione, « *Memorie di massa senza supporti in movimento* », il dr. Harloff (Unidata) ha illustrato le prestazioni ottenibili da memorie olografiche, a bolle e a trasferimento di carica, ed ha dimostrato le limitazioni imposte dalla tecnologia alle prestazioni ed alle capacità di tali sottosistemi.
A conclusione della sua relazione il dr. Harloff ha posto a confronto le nuove tecnologie per memorie di massa con i dischi a testine mobili, mostrando una tabella (Tab. II) che sinteticamente riassume lo stato dell'arte attuale e le previsioni per i prossimi anni.

Tabella II - Confronto tra le nuove tecnologie per memorie di massa veloci ed i sistemi a dischi.

	dischi		olografia		bolle		CCD	
	1974	1980	1974	1980	1974	1980	1974	1980
densità (bit/mm^2)	2.000	20.000	40.000	40.000	4.000	40.000	4.000	50.000
capacità sottosist. (MB)	200	2.000	1	10	0.05	10	—	10
tempo di accesso (μs)	50.000	10.000	100	10	2.000	200	—	10
costo/bit (m¢)	2	0.2	3÷30	3÷30	3÷30	3÷30	3÷30	3÷30
disponibilità	si	si	no	?	no	si	si	si
non-volatilità	si	si	si	si	si	si	no	no

Nella seconda relazione, *« Principi di funzionamento e caratteristiche funzionali delle memorie a trasferimento di cariche »*, l'ing. Ronzi (ATES-SGS) è entrato nei dettagli della tecnologia CCD, illustrandone il principio di funzionamento e le tecniche costruttive. Nel complesso, i CCD sono stati presentati come dispositivi attuali che offrono numerosi vantaggi quali: alta affidabilità, facilità di prova, basso costo, alto flusso di dati.

La relazione *« Memorie magnetiche a stato solido: sviluppi tecnologici e trend applicativi »* dell'ing. Maero (Olivetti) è stata dedicata alla tecnologia delle bolle magnetiche. I grossi problemi tecnologici che fino a pochi anni fa mettevano in dubbio la fattibilità, quali la sicurezza di generazione-annichilazione di una bolla, o la presenza di bolle anomale, sono da considerare ormai risolti. Resta solo da industrializzare la produzione di questi dispositivi, realizzati ora solo su commesse militari. I più ottimisti si aspettano prototipi commerciali per il 1978.

La relazione è stata conclusa da una breve presentazione dell'ing. Rossetti, dell'Olivetti, sulla utilizzazione dei dispositivi a bolle. I pregi essenziali sono: la non volatilità, l'ingombro ridotto, la bassa potenza necessaria per l'uso ed una elevata immunità a disturbi esterni.

La giornata è stata conclusa dalla relazione *« Criteri di valutazione per memorie di massa veloci »* presentata dal prof. Minnaja e dal dr. Nobile del Centro di Ricerca e di Progettazione di Pregnana Milanese della Honeywell Information Systems Italia. Punto di partenza della relazione è la osservazione che si stanno rendendo disponibili nuovi sottosistemi di memoria con prestazioni estremamente varie a costi molto differenti. Si rende quindi necessario monetizzare il concetto di « prestazioni » nel senso che occorre valutare quanto è ragionevole pagare per avere prestazioni in più. Poiché memorie di massa veloci saranno sempre usate in gerarchia tra memorie di massa lente e memorie principali, la via seguita è stata quella di valutare costi e prestazioni dell'intera gerarchia, non di ogni singolo pezzo. Il calcolo del costo, a parità di prestazioni, ha portato gli autori alla definizione di un opportuno « fattore di merito » per ogni tecnologia di memoria di massa veloce, legato sostanzialmente al risparmio ottenibile introducendo tale tecnologia nella gerarchia di memorie del sistema. Attualmente, i CCD sembrano i più adatti ad occupare il III livello della gerarchia mostrata nella tabella I, proposta dai due relatori. Il valore numerico del fattore di merito è ovviamente destinato a variare nel tempo con l'evoluzione della tecnologia, ma il criterio di valutazione introdotto dagli autori rimane valido.

M.N.

MEDINFO 74 - Primo congresso mondiale sull'informatica medica

Stoccolma, 5-10 agosto 1974. Organizzato dall'IFIP, International Federation for Information Processing. Atti pubblicati dalla North-Holland Publishing Co., Amsterdam.

L'esposizione di esperienze e di realizzazioni ha il torto di porre in primo piano i risultati raggiunti, dimenticando o trascurando la problematica incontrata, gli espedienti risolutivi, i tentativi intermedi, gli insuccessi e il loro superamento. Eppure sono proprio questi gli aspetti più istruttivi per chi ricerca un indirizzo per operare, piuttosto che la serena — e rasserenante — esposizione di un risultato consolidato, o dato per tale.

Di ciò si sono dimostrati consapevoli gli organizzatori del MEDINFO 74, che hanno voluto logicamente premettere all'ampissima rassegna di esperienze e di progetti in corso (e che si è articolata in 21 sessioni con 152 relazioni e 28 comunicazioni) due sessioni dedicate alle problematiche incontrate nell'introdurre l'informatica nei problemi sanitari.

L'atteggiamento fideistico verso la tecnologia elettronica tipico degli anni '60 è stato gradualmente abbandonato (Bennett), tanto che i più ambiziosi progetti hanno subito radicali ridimensionamenti.

Concreti risultati si sono invece raggiunti in settori specifici, quali la gestione delle risorse ospedalieree i problemi logistici, i laboratori clinici, i centri multifasici, la cardiologia e l'analisi comportamentistica. Ci si è accorti che la tecnologia offre una sovrabbondanza di soluzioni ai problemi, mentre ciò che manca è una diffusa comprensione delle caratteristiche degli elaboratori.

In particolare è necessario superare le resistenze dei sanitari, coinvolgendoli in prima persona nello sviluppo dei progetti di automazione.

L'esigenza di formare il personale medico e paramedico all'utilizzo degli elaboratori è stato ribadito in numerose relazioni, che hanno presentato sia esperienze di formazione a livello universitario (Stutman; Blois e Wasserman; Tannenbaum; Mur) diffuse particolarmente negli USA, sia esperienze di addestramento a livello ospedaliero (Scholes e Maureen; Peterson; Norwood).

Un certo rilievo si è quindi giustamente dato all'impatto provocato sul personale, specialmente di reparto, dall'introduzione di moduli di raccolta di dati o di sistemi colloquiali (Hartmann, Vickery; Shires; Cook; Watson).

« Parassitismo o simbiosi » è l'alternativa prospettata da Griffith e Carter: cioè quali sono i mezzi per realizzare un'efficace simbiosi tra strumento di elaborazione e struttura sanitaria?

Innanzitutto — risponde Lamson — è necessario individuare gli appropriati livelli gerarchici dell'organizzazione da coinvolgere nello sviluppo della automazione. Presa questa decisione fondamentale, si pongono i problemi tattici: se, ad esempio in un organismo sia preferibile una struttura di elaborazione centralizzata o piuttosto distribuita con installazioni ad obiettivo specifico (Höhne e altri) e, nel secondo caso, come risolvere i problemi d'interconnessione dei

flussi e come limitare la ridondanza dei dati; o, ancora, quale sia il ruolo proprio del fornitore, in particolare nello sviluppare il software applicativo e nel guidare la messa in opera del sistema (Griffith e Carter); o come si possa procedere gradualmente nella realizzazione di un sistema integrato (Tyler); o se sia possibile l'impiego di programmi applicativi realizzati da altre strutture sanitarie (Aschcroft e Berry).

Si sottolinea infine (Ayers e Aller) la necessità di una pianificazione preventiva e della misurazione continua dell'efficacia e dei vantaggi del nuovo sistema.

L'evoluzione dei sistemi sanitari dei paesi occidentali è caratterizzata da tre elementi (Harding-Smith): la regionalizzazione delle strutture sanitarie, la valorizzazione delle strutture ambulatoriali, l'intensificazione dei provvedimenti di medicina preventiva.

Qual'è il ruolo giocato dall'informatica in questa evoluzione della struttura sanitaria? E quale ruolo assumono i poteri locali e centrali nell'utilizzare le risorse di elaborazione in questo nuovo quadro istituzionale?

Il ruolo svolto dalle autorità centrali (White) può consistere, a seconda dei casi, nella completa pianificazione delle attività di informatica, nell'assicurare economie di scala centralizzando acquisti e sviluppi applicativi, nel fornire un'assistenza finanziaria e tecnica.

D'altro canto le autorità centrali hanno esse stesse sempre più bisogno di informazioni complete (che in genere comportano banche di dati sulle risorse e sulla popolazione) per superare la tradizionale frammentarietà dei servizi sanitari e per gestire dal centro la distribuzione delle risorse.

La grandissima maggioranza delle esperienze presentate al Convegno sono state condotte a livello ospedaliero (30%) o universitario (37%), o di istituti di ricerca (20%), per lo più per loro iniziativa. Ma non mancano esempi di progetti stimolati, coordinati o imposti dai poteri territoriali.

In Olanda (De Bruijn) si stimola il coordinamento ed il raggruppamento delle esperienze di automazione ospedaliera mirando ad un sistema informativo a tre livelli:

• Un livello *ospedaliero* su base associativa con i compiti:

1. di gestire in tempo reale l'archivio dei pazienti in collegamento con le accettazioni sia dei degenti sia dei pazienti ambulatoriali;

2. di risolvere i problemi amministrativi e statistici;

3. di gestire i servizi interni, quali radiologia e laboratori;

• Un livello *regionale*, con i compiti di gestire:

1. l'archiviazione dei dati medici di pronto soccorso e dei sommari di trattamento;

2. le liste di attesa dei pazienti;

3. gli aspetti inerenti al controllo regionale;

• Un livello *nazionale*, per il quale si configurano varie possibilità:

1. la costituzione di un sistema centrale di « message switching » che colleghi i vari centri regionali e in cui l'elaboratore centrale esegua anche i compiti connessi con un'archiviazione a livello nazionale;

2. la ripartizione delle funzioni di elaborazione a livello nazionale fra appositi centri di calcolo, ciascuno con la propria connessione alla rete;

3. la connessione alla rete degli elaboratori dei servizi sanitari locali e dei registri della popolazione.

Una struttura informativa a tre livelli (distrettuale, regionale e centrale) è stata pure proposta dalla Commissione di Studio sull'Organizzazione Regionale Sanitaria dell'Ontario (Shepley), secondo la quale la massa di dati relativi ai pazienti deve venire gestita a livello distrettuale in collegamento con le registrazioni ospedaliere, di laboratorio, assistenziali, ecc. mentre le funzioni amministrative e di pianificazione richiedono un livello informativo regionale, con un centro che elabori i dati provenienti dai distretti, che archivi i dati sintetici sul territorio, e che svolga funzioni di smistamento delle informazioni sia entro il territorio che tra le varie regioni. Infine, a livello centrale viene proposto un centro di elaborazione con la funzione di gestire un indice sanitario della popolazione che possa rimandare alle archiviazioni distrettuali, e con la funzione di elaborare i piani sanitari provinciali.

In Gran Bretagna (Caddick e Lee) l'autorità centrale ha il compito di controllare le applicazioni EDP esistenti e di pianificare gli sviluppi attuali e futuri, con gli obiettivi di determinare se l'elaboratore è lo strumento più efficace per migliorare il livello delle cure e di stabilire la migliore localizzazione dei sistemi.

A questo scopo viene compiuto un censimento annuale sulla informatica sanitaria secondo criteri standardizzati ed ogni proposta d'automazione viene vagliata sulla base di criteri prestabiliti (Sharpe).

La valutazione viene ripetuta prima di autorizzare ciascuna delle tre fasi: di progettazione, di sviluppo del sistema prototipo e di messa in funzione.

In Svezia (Harding-Smith) l'ospedale, assieme ad altri ospedali e centri di cura, è membro di un team che idealmente appronta in modo coordinato gli strumenti per meglio prestare le cure mediche nell'ambito di una struttura regionale geograficamente definita.

Nell'Unione Sovietica (Sudarikov) il sistema informativo segue la struttura gerarchica delle istituzioni (presidio medico, dipartimento, città o regione, Repubblica e Unione), con relativi centri di calcolo e sintesi crescenti.

Il sistema informativo comprende la pianificazione finanziaria, la pianificazione dei servizi sanitari ed epidemiologici e dell'approvvigionamento farmaceutico; comprende un'archiviazione centralizzata del personale medico, ecc.; fornisce informazioni di statistica medica, scientifiche e tecniche.

Il Governo Belga ha finanziato un progetto interuniversitario (Van Egmond e altri) volto a standardizzare l'impostazione dei verbali di dimissione dei de-

genti ospedalieri, onde consentire un'archiviazione omogenea e sintetica di dati sanitari, alla quale potranno agganciarsi archiviazioni di dati specialistici. L'elaborazione di questi dati viene già effettuata a Lovanio (Roger e altri) con finalità e criteri analoghi a quelli della « Stichting Medische Registratie » olandese e della « Commission on Professional and Hospital Activities » di Ann Arbor, Mich. (Leighton). È stato anche illustrato qualche esempio di elaborazioni settoriali effettuate su ampia base territoriale: il registro scozzese dei pazienti affetti da malattie della tiroide (Hedley e altri) e il sistema per pazienti psichiatrici operante in dieci degli Stati Uniti d'America (Findikjan e altri).

I maggiori ostacoli — a dire di Harding-Smith — allo sviluppo dell'informatica sanitaria su base territoriale sono dati da un lato della frammentazione organizzativa dei servizi sanitari e dall'altro dalla mancanza di un numero di identificazione dei pazienti assegnato su base nazionale.

Che non sia facile valutare le applicazioni sanitarie dei calcolatori, appare chiaro dall'insieme delle relazioni che hanno trattato l'argomento, specialmente poi se si desidera una valutazione quantitativa. Ed il problema risulta tanto più complesso quanto più lungo è stato lo sviluppo del sistema, e quindi lontani i termini di paragone, e quanto più vasto e integrato è il sistema stesso.

Per valutare i risultati è innanzitutto necessario che siano stati chiariti e formalizzati gli obiettivi dell'applicazione (Barber).

Questi obiettivi — secondo la metodologia britannica (Sharpe) — rientrano in tre categorie:

a) una più efficiente allocazione di risorse;

b) un utilizzo delle risorse che permetta una maggiore prestazione di cure di pari qualità, oppure che permetta:

c) un miglioramento qualitativo delle cure senza alterarne la quantità.

Si tratta di misurare il livello di conseguimento di questi obiettivi e di contrapporlo al costo addizionale. A questo scopo è necessario scegliere appropriate unità di misura, alcune quantitative, impiegando variabili monetarie (ad esempio per la riduzione delle giacenze) o variabili naturali (ad esempio per la diminuzione delle attese dei pazienti), e altre qualitative (ad esempio per i migliorati rapporti tra il personale).

Deve comunque essere ben chiaro che non tutti i benefici di un'applicazione possono essere identificati, e tanto meno misurati; si ritiene, anzi, che le categorie di cambiamenti che val la pena di valutare siano relativamente poche: gli effetti sul contenuto del lavoro per specifiche mansioni; gli effetti sul carico di lavoro di reparto; i risparmi in consumi; la riduzione di errori o incidenti; un aumento di atti curativi; un aumento nella quantità e affidabilità delle informazioni; una riduzione dei tempi di attesa dei pazienti; modifiche nell'atteggiamento sia del personale che dei pazienti.

Barber fornisce alcuni esempi pratici di valutazioni quantitative; mentre Norwood fornisce piuttosto i risultati complessivi della valutazione di un sistema ospedaliero totale, secondo la quale il 90% dei risparmi stimati consiste in miglioramenti dal punto di vista lavoro, specialmente nelle attività di reparto, ed il restante 10% è dovuto a vantaggi finanziari o a risparmi nel consumo dei materiali.

Al MEDINFO è stato dato giusto rilievo al problema dell'impostazione dei data-base sanitari, vuoi generali (Baker e altri, Gothier e altri, Jainz e Wick; Greenburg e altri), vuoi settoriali (Goupy e altri; Gibbons e Fleischli; Lansink; Hercz e altri), ed ai connessi problemi della linguistica medica (di rilievo la relazione di Pratt).

Ampia è stata la rassegna delle applicazioni, sia in sede ospedaliera (generale e specialistica), sia in sede ambulatoriale (Möhr e altri; Temmerman; Lannie e altri; Dixon) e comunitaria (Terdiman e altri; Garfield).

Numerose sono state le sessioni monografiche, dedicate: alla diagnosi con l'aiuto dell'elaboratore; alla analisi dei segnali (in particolare cardiografici ed encefalografici); ai sistemi di monitoraggio dei pazienti; alla radioterapia; all'elaborazione delle immagini; al trattamento dei dati sui farmaci ed ai laboratori di analisi.

Concludendo questa nota, occorre osservare però che al MEDINFO sono state pressoché trascurate le relazioni tra realizzazioni di informatica sanitaria e ambiente in cui le strutture sanitarie operano.

Le relazioni hanno riportato per lo più esperienze nord-americane (25%), nord europee (37%) e centro europee (25%).

Ma esperienze nate in contesti diversi hanno diverso significato, talora diversa utilità pratica e certamente ne è limitata la ripetibilità.

Si pensi che un ospedale nord-americano di 500 posti-letto ha una capacità finanziaria (e non si parla dei problemi di liquidità) pari ad un ospedale italiano di oltre 1500 posti-letto, ma ben diversa è la dimensione dei problemi organizzativi e informativi per i due ospedali.

Si pensi alle diverse strutture istituzionali della sanità ed al loro diverso impatto sui processi decisionali e sugli stimoli al perseguimento di criteri di efficienza o alla sperimentazione o alla elevazione professionale; si pensi all'influenza che ha la struttura assistenziale di un paese sul comportamento medio dei pazienti e del personale curante, sulla dinamica stessa delle degenze; si pensi al diverso stimolo offerto alla sperimentazione e alla diffusione delle tecnologie da istituzioni universitarie e di ricerca a diverso livello di efficienza; si pensi, infine, al ruolo che anche in questo settore possono assumere le autorità centrali e territoriali (a tal proposito vale la pena di notare che numerose realizzazioni riportate al MEDINFO sono state volute e/o finanziate dai poteri pubblici).

La mancata discussione sull'influsso che gli aspetti istituzionali hanno sull'informatica medica, è l'unico appunto che si può fare a questo, per molti aspetti validissimo, congresso.

V.D.N.

Convegno internazionale di «Human Engineering»

Milano, 13-15 novembre 1974

In concomitanza con la XIII BIAS (Mostra Biennale di Automazione e Strumentazione) si è tenuto a Milano dal 13 al 15 novembre 1974 un convegno internazionale sul tema della « Human Engineering ».

« Human engineering » è un'espressione recentemente entrata nell'uso in America, dove nella progettazione di macchine e sistemi i tecnici vengono oggi spesso affiancati da esperti in « human factors ». Essa potrebbe dunque tradursi con « progettazione che tiene conto del fattore umano » o « progettazione a misura d'uomo » ma in Europa si continua generalmente a parlare piuttosto di ergonomia, termine che copre un ambito un po' più ampio e cioè quello dello studio delle condizioni e dell'ambiente di lavoro, allo scopo di adattarli alle esigenze psico-fisiche del lavoratore.

Il Comitato organizzatore del convegno, presieduto da Franco Filippazzi, ha dal canto suo deciso di allargare ulteriormente il tema del convegno stesso fino a comprendervi tutti gli aspetti del rapporto uomo-macchina e così ad esempio, nella sezione dedicata all'elaborazione dati, si sono avute varie comunicazioni sui problemi del software che è appunto l'intermediario nel colloquio uomo-calcolatore.

Nella prima sezione (L'uomo e l'Human Engineering), dopo una presentazione generale del tema fatta da A. Grieco dell'Università di Milano, gli aspetti antropometrici dello Human Engineering sono stati discussi da W. Rhomert della Technischen Hochschule di Darmstadt mentre B. Schackel della University of Technology di Loughborough (Inghilterra) ha preso in considerazione gli aspetti psicologici e cognitivi. Schackel ritiene che la progressiva introduzione dell'automazione rappresenti l'occasione storica per sanare radicalmente i guasti provocati dall'indifferenza verso i problemi umani che ha caratterizzato la prima rivoluzione industriale. Dato però che per la sua stessa natura l'automazione tende a riunire elementi precedentemente isolati e isolatamente trattabili in sistemi vasti e complessi, che presentano una inerzia e una resistenza al cambiamento tanto più grandi quanto maggiori sono le dimensioni del sistema, occorre, ed è anzi un punto vitale, che la progettazione di questi sistemi tenga conto fin dall'inizio dei problemi umani che possono nascere.

A conclusione della prima sezione, E. Biondi del Politecnico di Milano ha parlato dell'impiego di modelli matematici nella risoluzione di problemi di medicina del lavoro, presentando un esempio relativo allo studio delle lesioni dell'apparato acustico provocato da rumore eccessivo.

Nella seconda sezione (Lo Human Engineering nella supervisione e nel controllo dei sistemi), dopo una breve introduzione di U. Pellegrini dell'Olivetti, G. Geiser e M. Syrbe dell'Institut für Informationsverarbeitung in Technik und Biologie di Karlsruhe si sono posti il problema della considerazione del fattore umano nella progettazione delle grandi sale di controllo, ad esempio di una centrale elettronucleare, di una raffineria di petrolio o di un sistema di regolazione del traffico in una città. È vero che molti compiti di controllo tendono oggi ad essere svolti automaticamente attraverso calcolatori ma la funzione dell'operatore uomo rimane essenziale, ad esempio nelle fasi di avvio e di arresto dei sistemi o quando si verifichino malfunzionamenti, ed essenziale rimane quindi la scelta, peraltro enormemente facilitata dalle moderne tecnologie, di mezzi di segnalazione visiva e acustica che uniscano la massima efficacia alla minor richiesta di sforzo da parte dell'operatore. Alcuni casi particolari di adattamento reciproco fra uomo e strumentazione in sistemi complessi di controllo sono stati discussi da A. Filisetti dell'Aeritalia (per quanto riguarda i moderni aerei, in particolare da combattimento), da E. Vallerani ancora dell'Aeritalia (per quanto riguarda i veicoli spaziali) e da J.L. French della Westinghouse (per quanto riguarda le centrali nucleari).

Nella terza sezione (Lo Human Engineering nella elaborazione dei dati) R.B. Wheeler dell'Honeywell Information Systems ha tracciato la storia dei calcolatori dal punto di vista dell'industrial design e dei requisiti ergonomici relativi all'intervento degli operatori e dei tecnici manutentori. Un aspetto particolare dell'interazione uomo/calcolatore, in cui il primo non figura solo come partner attivo ma anche come, se così si può dire, « oggetto di trattamento », è stato discusso da E. Gabrieli della State University di New York di Buffalo in una relazione sulla « medicina computerizzata ». I. De Lotto dell'Università di Pavia ha poi presentato una sua comunicazione e ne ha riassunto altre (di C. Bona dell'Olivetti; di C. Cavagna, U. Cugini e C. Luini del Politecnico di Milano; di J. Wood del Royal College of Art di Londra) sui problemi delle relazioni fra uomo e calcolatore nella cosidetta CAD (Computer Aided Design), ossia nell'uso interattivo di calcolatori nella progettazione in vari campi (meccanico, tessile, di edifici ecc.).

Sempre nella stessa sezione sono quindi stati affrontati i problemi del software e della comunicazione, intesa nei suoi termini più generali, fra uomo e calcolatore. Dopo un inquadramento generale dei problemi e delle tendenze in questo campo da parte di G. Degli Antoni dell'Università di Milano, una relazione di A. Cicu, G. Collina e G. Torriani dell'Honeywell Information Systems Italia ha presentato l'esperienza — unica in Italia — di produzione di software su scala industriale da parte della « software factory » di Pregnana. Dal canto suo A.R. Meo dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino ha riferito sugli esperimenti in corso in tema di comunicazione fonica uomo/calcolatore. Infine D. Cesa Bianchi della Honeywell Information Systems Italia ha riassunto una serie di comunicazioni (di D.A. Walsh Petito; di M. De Blasi, G. Giannelli e P. Papoff dell'Università di Bari; di G. Degli Antoni, M. Maiocchi e R. Polillo dell'Università di Milano; di F. Molé dell'Università di Pisa; di A. Brioschi della

Honeywell Information Systems Italia; di G.F. Fait, L. Ferri e G.A. Lanzarone dell'Università di Milano e di A. Carnevale e C. Monducci della Honeywell Information Systems Italia) su vari aspetti della interazione uomo/calcolatore nella progettazione di sistemi di elaborazione dati (destinati sia ad applicazioni gestionali che al controllo di processi industriali) nonché su tecniche come il firmware e l'autodiagnosi che anch'esse influiscono in diversi modi sul colloquio uomo/macchina il quale è e rimane uno dei problemi fondamentali per l'ulteriore diffusione degli elaboratori e la loro sempre maggiore incidenza nelle attività umane.

L'ultima sezione del convegno è stata dedicata alla robotica (Human Engineering e robotica nei processi industriali). Gli aspetti psicosociologici dell'introduzione nell'industria di questa ulteriore fase dell'automazione sono stati illustrati da G. Girard dell'Università di Trento che li ha inquadrati nel più ampio tema delle reazioni ai « cambiamenti organizzativi » quali si registrano all'interno delle aziende. A. Corelli della FIAT ha descritto l'applicazione di robot, ossia di bracci automatici a percorso programmabile, nella saldatura a punti di scocche in lamiera per automobili mentre M. Unnia della Prospecta di Milano ha individuato nell'alternativa robotica il « modo di superare il taylorismo sfruttandone l'intima razionalità ingegneristica e annullandone gli aspetti negativi » grazie alla ristrutturazione del lavoro da essa resa possibile. Egli ha lamentato, come fattori limitanti l'introduzione di questa nuova forma di automazione nel nostro paese, oltre all'assenza di una industria nazionale di robot, lo scarso interesse finora manifestato dalle aziende e il rinnovato prevalere, nell'atteggiamento dei sindacati, delle preoccupazioni occupazionali. Tuttociò peraltro comporta — secondo Unnia — il rischio di un'accentuazione del distacco « che già oggi si è creato fra noi e altri paesi industrializzati ».

Sul tema della robotica M. Petternella dell'Università di Roma ha presentato una sua comunicazione e ne ha riassunto alcune altre (di G. Duina della Norda di Brescia; di M. Gini, G. Gini, P.L. Corti del Politecnico di Milano; di E. Pagello del CNR; di C. Severin dell'Alfa Sud; di M. Somalvico, S. Milani, S. Gaetani, P.L. Corti del Politecnico di Milano; di P. Vicentini dell'Alfa Romeo e di R.J. Popplestone della University of Edinburgh) sui problemi della progettazione e dell'applicazione a lavorazioni industriali di sistemi robotici.

G.R.

Babbage - La macchina analitica (un secolo di calcolo automatico)

a cura di Mario G. Losano; pagg. 191; ETAS Libri 1974.

Anche se il suo nome ricorre in tutte le storie del calcolo elettronico, di Charles Babbage in realtà si conosce generalmente molto poco, almeno in Italia. Lo conosceva sicuramente molto meglio Karl Marx, suo contemporaneo, che infatti lo cita a più riprese nel Capitale come teorico di organizzazione industriale e lo loda come « matematico e meccanico ». Perché Babbage fu veramente un uomo dal multiforme ingegno e se gli studi e i tentativi di realizzazione della sua macchina differenziale e poi della sua macchina analitica (quella che a giusto titolo viene considerata dal punto di vista logico una delle più dirette antenate dei moderni calcolatori elettronici) lo tennero relativamente impegnato per molti anni, non gli impedirono però di occuparsi « di calcolo e di fisica, di tavole logaritmiche e di assicurazioni sulla vita, di meccanica e di filosofia, di fari marittimi e di ferrovie, di vita universitaria e di organizzazione del lavoro aziendale. Queste scorrerie nei domini più eterogenei delle scienze applicate ebbero spesso frutti imprevisti, di cui oggi pochi sono al corrente: a Babbage si devono i calcoli sul costo del trasporto della corrispondenza, che servirono di base all'introduzione del francobollo, generalmente attribuita senz'altro a Sir Rowland Hill; a lui si deve anche l'idea di differenziare l'uno dall'altro i fari marittimi, attribuendo ad ognuno un'intermittenza diversa da tutti i restanti. E l'elenco, dice Losano, potrebbe continuare per un pezzo.

Nessun libro prima di questo è stato dedicato in Italia all'inventore della macchina analitica, e anche nei paesi anglosassoni bisogna arrivare ad anni relativamente recenti per trovare biografie e studi su di lui che, senza la luce proiettatagli addosso a ritroso dalla realizzazione (avvenuta peraltro seguendo tutte altre strade) del primo calcolatore elettronico, sarebbe rimasto confinato insieme a molti altri nei limbi del folklore scientifico.

Dopo aver elaborato nel corso degli anni 1820 i piani di una « macchina differenziale » ossia capace di compilare tavole matematiche col metodo delle differenze (e dunque in pratica un'addizionatrice a più stadi) e dopo averne invano tentato la realizzazione (solo una parte di essa vide effettivamente la luce e venne presentata all'Esposizione di Londra nel 1862) Babbage passa, alla metà degli anni 1830, al progetto di una « macchina analitica » che non solo esegua le quattro operazioni ma che sia in grado di concatenarle, ossia di « eseguire la serie delle operazioni analitiche e numeriche che la soluzione di un problema esige, nello stesso modo in cui un telaio Jacquard, per mezzo degli appositi cartoni, esegue i disegni di una stoffa broccata ».

Queste parole sono di un italiano: il generale Luigi Federico Menabrea (che fu poi presidente del Consiglio dal 1867 al 1869) il quale prese conoscenza del progetto di Babbage in occasione della presentazione da questo fattane al « Congresso matematico » tenutosi a Torino nel 1840. (Ai rapporti fra Babbage e l'Italia è dedicato uno dei capitoli più interessanti del testo del Losano. Al Menabrea è dovuta quella che lo stesso Babbage giudicava la migliore descrizione della sua macchina, descrizione che venne poi tradotta in inglese con l'aggiunta di note a loro volta

molto penetranti da un altro personaggio che figura anch'esso curiosamente in questo contesto: Ada Byron, figlia del poeta e contessa di Lovelace).
La macchina analitica è, nel suo impianto logico, singolarmente affine ai moderni elaboratori elettronici: vi è una memoria (store), un'unità di calcolo (mill), vi sono delle « operation cards » ossia delle schede perforate che vengono alimentate in macchina e indicano a questa le operazioni da compiere. A ogni « operation card » corrispondono tre schede di dati: una per le variabili, una per il richiamo di costanti o precedenti risultati già memorizzati in macchina e una per indicare dove collocare il risultato. Sono anche previsti degli « acts of judjement » ossia delle operazioni logiche di salto condizionato. Nelle parole stesse di Babbage « la macchina analitica è quindi una macchina di natura quanto mai generale. Qualunque sia la formula da calcolare, bisogna comunicarle la legge del suo sviluppo con un gruppo di schede. Una volta collocate le schede, la macchina è come fatta per quella specifica formula ». Una descrizione, osserva Losano, che si attaglierebbe perfettamente agli elaboratori moderni. La macchina di Babbage avrebbe dovuto essere realizzata con soluzioni interamente meccaniche, le sole allora disponibili, e qui cascò l'asino vuoi per l'intrinseca difficoltà dell'opera, vuoi per una insufficiente ingegnerizzazione da parte di Babbage e vuoi soprattutto per i suoi continui ripensamenti. Il governo inglese, dopo aver concesso più di 17 mila sterline per la mancata realizzazione della precedente macchina differenziale, si disinteressò del nuovo progetto e Babbage, pur impiegando una notevole parte del patrimonio ereditato dal padre banchiere, non riuscì ad andare al di là della costruzione di alcune parti della macchina, che si conservano oggi al Museo della Scienza di Londra.
Il libro di Losano, oltre all'ampio saggio introduttivo, contiene la riproduzione del capitolo XX (« Della divisione del lavoro intellettuale ») del libro « Sulla economia delle macchine e delle manifatture » (On the economy of machinery and manufactures) pubblicato da Babbage nel 1832 e tradotto in italiano nel 1834 a cura del Gabinetto Viesseux in Firenze. Questo libro, dice Babbage nell'Introduzione, è nato in qualche modo anch'esso dalla « macchina da calcolare » in quanto, impegnato nella costruzione di quella, egli avrebbe « creduto utile visitare laboratori e stabilimenti tanto in Inghilterra che sul continente » per rendersi « familiari le risorse della meccanica pratica » e questo esame lo avrebbe « condotto ad applicare ai diversi oggetti che si presentavano ai suoi sguardi i principi di generalizzazione ai quali il suo spirito era abituato da molto tempo ».
In realtà il legame fra questo libro (che è quello più volte citato da Marx) e la « macchina da calcolare » è per lo meno duplice, come dimostra appunto il capitolo qui riprodotto nel quale dall'osservazione della divisione del lavoro manuale realizzata nelle manifatture si argomenta la possibilità di introdurre una analoga divisione nel lavoro intellettuale necessario ad esempio per la preparazione di tavole matematiche (« mettere i logaritmi in manifattura come gli spilli ») e si arriva all'ulteriore conclusione della possibilità di meccanizzare almeno in parte quest'ultimo a somiglianza di quello.
Completano il volume curato da Losano tre capitoli tratti da quella specie di autobiografia intellettuale di Babbage che sono i « Passages from the life of a philosopher »: sono i capitoli in cui Babbage narra le vicende relative alla realizzazione delle sue macchine da calcolo e che avrebbero dovuto costituire il nucleo di una successiva « History of the analytical engine » che non venne però mai scritta.
In appendice figurano infine alcuni inediti di Babbage (corrispondenza con matematici piemontesi della prima metà dell'ottocento, descrizioni autografe della macchina analitica) ritrovati dallo stesso Losano (insieme con alcuni disegni anch'essi riprodotti nel libro) nel 1969 nella Biblioteca dell'Accademia delle Scienze di Torino.

G.R.

Elementi di informatica

di Mario Italiani e Giuseppe Serazzi, pagg. 564, Etas Kompass Libri, 1974.

La recente ristampa di questo manuale, uscito nel 1973, è indice del suo successo, successo dovuto non solo alla scarsità di testi informatici di tipo trattatistico in Italia (e per averne conferma basta scorrere la bibliografia posta in appendice a questo stesso volume) ma alle sue intrinseche qualità e in primo luogo al rigore, chiarezza e aderenza agli scopi didattici che derivano agli autori dalla loro ormai lunga esperienza di insegnamento di teoria dei calcolatori presso l'Università di Pavia.
Il volume si apre con un capitolo dedicato alle « Nozioni introduttive » e cioè ai sistemi di numerazione non decimale (binaria, ottale, esadecimale), ai principi dell'algebra booleana e ai problemi della codificazione delle informazioni nonché della cosiddetta rappresentazione in virgola mobile.
Nel secondo capitolo si affronta il tema degli « Algoritmi » e, dopo una presentazione di tipo intuitivo e una descrizione delle tecniche di flowchart, l'argomento viene approfondito dal punto di vista teorico facendo riferimento alla cosidetta « macchina di Turing ».
Il terzo capitolo descrive la « Struttura di un calcolatore elettronico » e analizza — dal punto di vista hardware — i vari aspetti del processo di elaborazione automatica dei dati, dalla introduzione ed estrazione delle informazioni alla memorizzazione e alle funzioni di calcolo e di governo del sistema.
Nel quarto capitolo (« La programmazione in linguaggio macchina ») il problema della programmazione dei calcolatori viene affrontato facendo riferimento a una macchina concettuale, il CND (Calcolatore Numerico Didattico), « caratterizzato da una struttura organizzativa e da una lista di istruzioni

che, pur essendo estremamente semplificate, lo avvicinano ai calcolatori reali oggi sul mercato ». L'accorgimento, già ampiamente collaudato dall'Italiani nei suoi corsi pavesi, si rivela particolarmente efficace nel facilitare l'apprendimento delle nozioni, conferendo a queste concretezza e nello stesso tempo consentendo di evitare i condizionamenti, e gli sviamenti dal punto di vista della linearità teorica, che sarebbero imposti dal riferimento alle particolarità di un dato calcolatore (senza contare la più o meno rapida obsolescenza cui i calcolatori reali vanno soggetti). Inoltre l'« invenzione » di un calcolatore ad hoc introduce una componente ludica la cui positività sul piano didattico non è da sottovalutare.

Il discorso in questo capitolo — che è il più lungo del libro — è molto ampio e ben articolato e il capitolo stesso potrebbe costituire da solo un piccolo trattato di programmazione.

Seguono un capitolo sulle « Strutture dei dati » molto rigoroso anche se di non facile lettura e due capitoli sui linguaggi simbolici. Nel primo (« Linguaggi simbolici orientati alla macchina ») si riprende molto utilmente l'espediente del calcolatore concettuale che viene dotato di un « linguaggio assemblativo CND », mentre nel secondo (« Linguaggi simbolici indipendenti dalla macchina ») si passano in rassegna, evidenziandone le caratteristiche principali, i linguaggi evoluti oggi più diffusi come il FORTRAN, il COBOL, l'ALGOL e il PL/1. Concludono i due capitoli un paragrafo rispettivamente sugli assemblatori e sui compilatori molto utili anche perché lumeggiano aspetti abbastanza trascurati nei manuali pratici di programmazione nei vari linguaggi simbolici.

L'ultimo capitolo del libro è dedicato ai « Sistemi operativi » della cui struttura e funzioni si dà una descrizione succinta ma molto chiara. In questo capitolo finale viene anche introdotto il discorso della multiprogrammazione, della trasmissione dati e dell'elaborazione in tempo reale e in time sharing.

Accanto ai molti pregi del volume (tra i quali va ancora annoverato il costante impegno all'impiego ovunque sia possibile di espressioni italiane equivalenti ai termini anglosassoni, oggi spesso inutilmente abusati da chi scrive di informatica), vanno menzionati anche alcuni suoi limiti quali una certa impostazione « monografica », quasi fine a se stessa, dei vari capitoli e — limite forse maggiore — una scarsa o nulla considerazione non solo di alcuni temi che, come la programmazione strutturata, vanno assumendo una sempre maggiore attualità ma in generale degli aspetti applicativi dell'informatica. È da augurarsi pertanto che quest'opera possa svilupparsi dagli odierni « elementi » in un futuro completo « trattato » di informatica.

G.R.